

ズームレンズ及びそれを有する電子撮像装置

Zoom Lens And Electronic Imaging Apparatus Having The Same

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、奥行き方向の薄型化とズームレンズの広角化を実現したビデオカメラやデジタルカメラなどの電子撮像装置に適するズームレンズと、そのズームレンズを有する電子撮像装置に関する。

2. Description of the Related Art

近年、銀塩35mmフィルム（135フォーマット）カメラに代わる次世代カメラとして、デジタルカメラ（電子カメラ）が注目されてきている。さらにそれは、業務用高性能タイプからポータブルな普及タイプまで、幅広い範囲でいくつものカテゴリーを有するようになってきている。そして、特にポータブルな普及タイプのカメラでは、奥行きが薄くて使い勝手が良いものが望まれるようになってきている。加えて、高画質であり且つ広画角のものが望まれるようになって来ている。

カメラの奥行き方向を薄くするのに最大のネックとなっているのは、光学系の最も物体側の面から撮像面までの厚みである。特にズーム光学系では、この厚みがネックになっている。そこで、最近では、カメラボディを薄型化する技術として、沈胴式鏡筒を採用することが主流となっている。この沈胴式鏡筒は、撮影時には光学系がカメラボディ内から突出しているが、携帯時にはカメラボディ内収納される構造である。沈胴式鏡筒を採用して効果的に薄型化した光学系は、例えば、特開平11-194274号、特開平11-287953号及び特開2000-9997号に記載されている。

これらに記載の光学系は、いずれも、物体側から順に配置された負の屈折力を持つ第1群と、正の屈折力を持つ第2群とを有していて、変倍時には第1群及び第2群ともに移動するようになってきている。

また、最近では、新たな電子撮像装置が提案されている。この電子撮像装置は、沈胴式鏡筒に見られるような、カメラの使用状態への立ち上げ時間（レンズのせり出し時間）がない点が特徴である。また、このような特徴は、防水・防塵上も好ましい。この

種の電子撮像装置の光学系は、奥行き方向が極めて薄いカメラとするために、光学系の光路（光軸）をミラーやプリズムなどの反射光学素子で折り曲げる構成を採用している。具体的には、最も物体側のレンズ群を固定して、その中に反射光学素子を設けている。そして、それ以降の光路を、カメラボディの縦あるいは横方向に折り曲げている。このような構成にすることによって、奥行き方向の寸法を極力薄くしている。

この場合、ある程度の画角を確保するために、反射光学素子の反射面よりも物体側に、必ず発散面を設けることになる。

また、この発散面による歪曲収差の発生を少なくするために、反射光学素子の像側に凹面を向けた負メニスカスレンズを設けることになる。

また、後続のレンズ系を小さく抑えた状態で光路折り曲げを成立させるために、プリズムやミラーなどの反射光学素子の光学有効面を小さく抑える必要がある。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置されたレンズ群と、前記レンズ群よりも像側に配置され正の屈折力を有する移動レンズ群とを備え、前記レンズ群は正レンズを1枚含み、前記移動レンズ群は広角端から望遠端に変倍する際に単調に物体側に移動し、下記条件を満足することを特徴としている。

$$0.8 < y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.96$$

但し、 f_w は広角端におけるズームレンズ全系の焦点距離、 y_{07} は前記電子撮像素子の有効撮像面内で中心から最も遠い点までの距離を y_{10} としたときに $0.7 \times y_{10}$ で表わされる像高、 ω_{07w} は広角端における前記電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群と前記移動レンズ群との間に開口絞りを有し、下記条件を満足する。

$$0.4 < \log \gamma_B / \log \gamma < 4.0$$

但し、 $\gamma = f_T / f_w$ （但し、 f_T は望遠端におけるズーム光学系全系の焦点距離）、 $\gamma_B =$ 望遠端における前記移動レンズ群の倍率／広角端における前記移動レンズ群の倍率である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が、物体側から正レンズ、負レンズの順に接合されたレンズ成分を少なくとも有する。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が負の屈折力を持つ光学素子を少なくとも有し、前記光学素子が非球面を少なくとも1面有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が、最も物体側に、負の屈折力を持つ光学素子を有し、下記条件を満足することを特徴とする。

$$-1.5 < (R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12}) < 1.1$$

但し、 R_{11} は前記光学素子の入射面の曲率半径、 R_{12} は前記光学素子の射出面の曲率半径である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群と前記開口絞りが、変倍時にそれらの位置が固定されている。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が反射光学素子を有する。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記反射光学素子が最も物体側に凹面を有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群が正レンズを備え、全体として正の屈折力を持つ。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記反射光学素子の入射面が、光軸から離れるにしたがって発散性が弱まる非球面である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、下記条件を満足する。

$$0.3 < d_F / d_P < 0.7$$

但し、 d_F は前記レンズ群における最も物体側の面と光軸との交点から前記反射面と光軸との交点までの距離、 d_P は該反射面よりも物体側に最も近い屈折面と光軸との交点から該反射面よりも像側に最も近い屈折面と光軸との交点までの光軸に沿って測った距離である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群の像側に隣接して配置された負の屈折力を持つレンズ群を有し、前記負の屈折力を持つレンズ群は負レンズと正レンズを有する。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記レンズ群の像側に隣接して配置された負の屈折力を持つレンズ群を有し、前記開口絞りが前記負の屈折力を持つレンズ群と前記移動レンズ群との間に配置されている。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ群は2つの非球面を有し、広角端から望遠端に変倍する際に前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動するように構成されている。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群がそれぞれ2面の非球面を有し、広角端から望遠端に変倍する際に第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動するように構成されている。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群はそれぞれ2つの非球面を有し、広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動するように構成されている。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群で合わせて4面の非球面を有し、広角端から望遠端に変倍する際に前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動するように構成されている。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、前記第1レンズ群及び前記第3レンズ群はそれぞれ2つの非球面を有し、広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動するように構成されている。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第1レンズ群が物体側から光路に沿って順に配置された発散性を有する光学素子と正レンズとを有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第2レンズ群が物体側から光路に沿って順に配置された両凹レンズと正レンズとを有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第3レンズ群が物体側から光路に沿って順に配置された、正の単レンズと、正レンズと像側に強い凹面を向けた負レンズからなる接合レンズとを有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第3レンズ群の像側に、フォーカスのために移動可能であるレンズ群を有している。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、最も像側に近いレンズ群が像面に対して位置が実質上固定されている。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第1レンズ群が像面に対して位置が実質上固定されており、前記光学素子は入射面と反射面を有するプリズムであり、前記入射面の形状は光軸から離れるにしたがって発散性が弱まる凹面である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群の間に像面に対して位置が固定である開口絞りを有し、前記開口絞りよりも物体側に1個のプリズムと3枚以下の単レンズが配置されている。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第2レンズ群と前記第3レンズ群は開口絞りを挟んで隣接しており、下記の条件を満足する。

$$0.50 < D3/D2 < 1.40$$

但し、D2は広角端における前記第2レンズ群の最も像側の面頂から前記開口絞りまでの光軸に沿った距離、D3は広角端における前記開口絞りから前記第3レンズ群の最も物体側の面頂までの光軸に沿った距離である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、下記の条件を満足する。

$$0.75 < y_{07} / (f_w \times \tan \omega_{07w}) < 0.96$$

但し、 f_w は広各端における前記ズームレンズ全系の焦点距離、 y_{07} は前記電子撮像素子の有効像面内で中心から最も遠い点までの距離を y_{10} としたきに $0.7 \times y_{10}$ で表される像高、 ω_{07w} は広角端における前記電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、下記の条件を満足する。

$$1. \quad 0 < f_w / y_{10} < 2.1$$

但し、 f_w は広各端における前記ズームレンズ全系の焦点距離、 y_{10} は前記電子撮像素子の有効撮像面内で中心から最も遠い点までの距離である。

また、本発明によるズームレンズは、最も物体側に配置された正の屈折力の第1レンズ群と、前記第1レンズ群よりも像側に配置されていて負の屈折力を有する第2レンズ群と、前記第2レンズ群よりも像側に配置されていて正の屈折力を有する第3レンズ群とを備え、広角端から望遠端に変倍する際に前記第2レンズ群は移動し且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動し、前記第1レンズ群は反射面を有し、下記の条件を満足する。

$$-1.0 \leq \beta_{2W} \leq -0.40$$

$$-1.0 \leq \beta_{3W} \leq -0.40$$

但し、 β_{2W} は前記第2レンズ群の広角端における倍率、 β_{3W} は前記第3レンズ群の広角端における倍率である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記光学素子の入射面と正レンズの何れかの面が、共に光軸から離れるほど曲率が弱くなる非球面である。

また、本発明によるズームレンズは、好ましくは、前記第2レンズ群が負レンズに、前記第3レンズ群が正レンズに、それぞれ非球面を有している。

また、本発明による電子撮像装置は、前記ズームレンズと、電子撮像素子と、画像処理ユニットとを備え、前記画像ユニットは、前記電子撮像素子で撮像した画像データを電氣的に加工してその形状を変化させる過程を有する。

本発明によれば、高ズーム比、明るい F 値など高い光学仕様性能を有するズームレンズを搭載しながらも、奥行き方向が極めて薄く、歪曲が少なく高画質で広画角な撮影が可能である電子撮像装置を提供することが可能となる。

These and other features and advantages of the present invention will become apparent from the detailed description of the preferred embodiments when take in conjunction with the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図 1 は本発明の電子撮像装置における光学系で発生した像面歪曲をデジタル補正するための基本的概念を示す説明図である。

図 2 は物体側からズーム光学系の前側主点位置に向かう主光線と光軸との関係を示す説明図である。

図 3 は本発明の電子撮像装置における透過率可変手段として適用可能なエレクトロクロミック素子の分光透過率特性を示すグラフである。

図 4 は発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第 1 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図 5 A, 5 B 及び 5 C は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図 6 A, 6 B, 6 C, 6 D 及び 6 E は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図で、広角端, 中間, 望遠端, 広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図 7 A ~ 7 D, 7 E ~ 7 H 及び 7 I ~ 7 L は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差, 非点収差, 歪曲収差及び倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図8A～8D及び8E～8Hは第1実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率色収差を示す図であり、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図9は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第2実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図10A、10B及び10Cは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図11A、11B、11C、11D及び11Eは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図であり、広角端、中間、望遠端、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図12A～12D、12E～12H及び12I～12Lは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図13A～13D及び13E～13Hは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図14は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第3実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図15A、15B及び15Cは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図16A、16B、16C、16D及び16Eは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図であり、広角端、中間、望遠端、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図17A～17D、17E～17H及び17I～17Lは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図18A～18D及び18E～18Hは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端と中間との間、及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

図19は本発明によるズームレンズの第4実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図20A、20B及び20Cは第4実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図21A～21D、21E～21H及び21I～21Lは第4実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図22A、22B及び22Cは第4実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図23は本発明によるズームレンズの第5実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図24A、24B及び24Cは第5実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図25は本発明によるズームレンズの第6実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図26A、26B及び26Cは第6実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図27A～27D、27E～27H及び27I～27Lは第6実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図28A～28D、28E～28H及び28I～28Lは第6実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図29は本発明によるズームレンズの第7実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図30A、30B及び30Cは第7実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図31A～31D、31E～31H及び31I～31Lは第7実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図32A～32D、32E～32H及び32I～32Lは第7実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図33は本発明によるズームレンズの第8実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図34Aから34D、34E～34H及び34I～43Lは第8実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図35A～35D、35E～35H及び35I～35Lは第8実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図36A、36B及び36Cは第8実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図37は本発明によるズームレンズの第9実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図38A、38B及び38Cは第9実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図39は本発明によるズームレンズの第10実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図40A、40B及び40Cは第10実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図41は本発明によるズームレンズの第11実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図42A、42B及び42Cは第11実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図43は本発明によるズームレンズの第12実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図44A、44B及び44Cは第12実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図45は本発明によるズームレンズの第13実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図46A、46B及び46Cは第13実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図で、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図47は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第14実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図48A、48B及び48Cは第14実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図49A～49D、49E～49H及び49I～49Lは第14実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図で、広角端、中間及び望遠端の状態を夫々示している。

図50A～50D、50E～50H及び50I～50Lは第14実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 1は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第1 5実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図5.2 A, 5 2 B及び5 2 Cは、第1 5実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 3 A～5 3 D, 5 3 E～5 3 H及び5 3 I～5 3 Lは第1 5実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 4 A～5 4 D, 5 4 E～5 4 H及び5 4 I～5 4 Lは第1 5実施例の近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 5は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第1 6実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図である。

図5 6 A, 5 6 B及び5 6 Cは第1 6実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 7 A～5 7 D, 5 7 E～5 7 H及び5 7 I～5 7 Lは第1 6実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 8 A～5 8 D, 5 8 E～5 8 H及び5 8 I～5 8 Lは第1 6実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図5 9 A, 5 9 B及び5 9 Cは本発明の電子撮像装置における最終レンズ群とフィルタ一類の好適な配置例を夫々示す説明図である。

図6 0は本発明による折り曲げズームレンズを撮影光学系に組み込んだデジタルカメラの前方斜視図である。

図6 1は図6 0に示したデジタルカメラの後方斜視図である。

図6 2は図6 0に示したデジタルカメラの内部構成を示す断面図である。

図 6 3 は本発明の折り曲げズームレンズが対物光学系として内蔵されたパソコンのカバーを開いた状態の前方斜視図である。

図 6 4 は図 6 3 に示したパソコンの撮影光学系の断面図である。

図 6 5 は図 6 3 の側面図である。

図 6 6 A, 6 6 B 及び 6 6 C は本発明の折り曲げズームレンズが撮影光学系として内蔵された携帯電話の正面図, 側面図及び断面図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

実施例の説明に先立ち、本発明の作用効果について説明する。本発明では、高ズーム比で明るい F 値を有するズームレンズを搭載した電子撮像装置において、奥行き of 薄型化と広画角化を両立させるものである。特にズームレンズの広角端近傍の焦点距離において、意図的に大きな樽型の歪曲収差を有した像を電子撮像素子に形成させる構成とした。このように構成すると、光学系を肥大化させずに広い画角の情報を取り込むことが可能となる。

本発明では、樽型に歪んだ像は、撮像素子を介して光電変換されて画像データとなる。そして、電子撮像装置に内蔵されている信号処理系等を介して、電氣的に形状変化（画像の歪み）に相当する修正加工が施される。すなわち、電子撮像装置より出力された画像データには画像の歪みが含まれているが、この画像の歪みがデジタル補正される。このようにすれば、撮像素子を介して得られた画像データを表示装置にて再生したときに、被写体形状にほぼ相似した画像が最終的に得られる。

ここで、像（画像）の歪曲をデジタル補正するための基本的概念について説明する。まず、光軸と撮像面との交点を中心として有効撮像面の短辺に内接する半径 R の円周上（像高）での倍率を固定し、この円周を補正の基準とする。そして、任意の半径 r (ω) の円周上（像高）にある各点を、ほぼ放射方向に移動させる。その際、半径 r' (ω) となるように、各点を同心円状に移動させる。このようにすることで、像の歪曲を補正する。なお、任意の半径 r (ω) の円周は、半径 R の円周以外の円周であることは、いうまでも無い。

補正の一例を、図 1 で説明する。図 1 の例では、半径 R の円の内側に位置する点は、円の中心に向けて補正すべき点となっている。そこで、これらの点を、円の中心に向け

て移動させている。また、半径Rの円の外側に位置する点は、円の外側に向けて補正すべき点となっている。そこで、これらの点を、円の外側に向けて移動させている。

例えば、点P 1は半径 $r_1(\omega)$ の円周上にある点で、半径Rの円の内側に位置している。そこで、この点P 1は、半径 $r_1'(\omega)$ ($< \text{半径 } r_1(\omega)$)の円周上の点P 2に移動させる。また、点Q 1は半径 $r_2(\omega)$ の円周上にある点で、半径Rの円の外側に位置している。そこで、この点Q 1は、半径 $r_2'(\omega)$ ($> \text{半径 } r_2(\omega)$)の円周上の点Q 2に移動させる。なお、半径Rの円の内側に位置する点を、円の外側に向かう方向に移動させてもよい。同様に、半径Rの円の外側に位置する点を、円の内側に向かう方向に移動させてもよい。どのように移動させるかは、像の歪曲によって異なる。

ここで、 $r'(\omega)$ は次のように表わすことができる。

$$r'(\omega) = \alpha f \tan \omega \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

但し、 ω は被写体半画角、 f は結像光学系（本発明ではズーム光学系）の焦点距離である。

ここで、半径Rの円上（像高）に対応する理想像高をYとすると、以下のようになる

$$\alpha = R/Y = R/f \tan \omega$$

光学系は、理想的には、光軸に対して回転対称である。よって、歪曲収差も光軸に対して回転対称に発生する。そこで、光学的に発生した歪曲収差を電氣的に補正する場合には、上述のように、再現画像上で、光軸と撮像面との交点を中心とした有効撮像面の長辺に内接する半径Rの円の円周上（像高）の倍率を固定しする。そして、それ以外の半径 $r(\omega)$ を有する円周上（像高）にある各点をほぼ放射方向に移動させる。その際、半径 $r(\omega)$ が半径 $r'(\omega)$ となるように、各点を同心円状に移動させる。このようにして、像の歪曲を補正することができれば、データ量や演算量の点で有利と考えられる。

ただし、光学像は、電子撮像素子で撮像された時点で連続量ではなくなる。これは、電子撮像素子の各画素で、光学像がサンプリングされるためである。従って、電子撮像素子上の画素が放射状に配列されていない限り、厳密には光学像上に描かれる半径Rの円も、正確な円ではなくなる。つまり、画像データが離散的な座標の各点で表わされる場合、この画像データの形状補正においては、上記倍率を固定できる円は存在しない。そこで、各画素（ X_i, Y_j ）毎に、移動先の座標（ X_i', Y_j' ）を決める方法を用

いるのがよい。なお、座標 (X_i', Y_j') に (X_i, Y_j) の2点以上が移動してきた場合には、各画素が有する値の平均値をとる。また、移動してくる点がない場合には、周囲のいくつかの画素の座標 (X_i', Y_i') の値を用いて補間すればよい。

このような方法は、特に、光学系や電子撮像素子の製造誤差などのために、光軸に対して像の歪みが著しく生じる場合の補正に有効である。このような場合、光学像上に描かれる上記半径 R の円が非対称になるため、各画素毎に移動先の座標を決めるという補正が有効である。また、撮像素子或いは各種出力装置において、信号を画像に再現する際に幾何学的歪みなどが発生する場合がある。このような場合の補正にも、上記方法は有効である。また、トーリック面や、その他の回転非対称面などを応用すれば、プリズムをさらに小型化でき、電子撮像装置のさらなる薄型化が可能である。その場合においても、この補正方法は有効である。

本発明の電子撮像装置では、補正量 $r'(\omega) - r(\omega)$ を計算する必要がある。そのために、 $r(\omega)$ 即ち半画角と像高との関係、或いは、実像高 r と理想像高 r'/ω との関係が、電子撮像装置に内蔵された記録媒体に記録されている。なお、歪曲補正後の画像において、短辺方向の両端において光量が極端に不足することのないようにするのが好ましい。このようにするには、半径 R が、次の条件を満足するのが良い。

$$0 \leq R \leq 0.6 L_s$$

但し、 L_s は有効撮像面の短辺の長さである。

好ましくは、半径 R は、次の条件を満足するのがよい。

$$0.3 L_s \leq R \leq 0.6 L_s$$

さらには、半径 R は、有効撮像面の短辺方向の内接円の半径に、ほぼ一致させるのが最も有利である。なお、半径 $R=0$ の近傍、即ち、軸上近傍において倍率を固定した補正の場合は、実質画像数の面で若干の不利があるが、広角化しても小型化にするための効果は確保できる。

なお、補正が必要な焦点距離区間については、焦点距離区間をいくつかの焦点ゾーンに分割ししておくのが良い。そして、分割された焦点ゾーン内の望遠端近傍で、ほぼ以下の関係を満足する補正結果が得られる場合の補正量を算出する。そして、この補正量を用いて補正してもよい。

$$r'(\omega) = \alpha f \tan \omega$$

ただし、その場合、分割された焦点ゾーン内の広角端において、樽型歪曲量がある程度残存してしまう。

また、分割ゾーン数を増加させてしまうと、補正のために必要な固有データを、記録媒体に余計に保有する必要が生じる。よって、分割ゾーン数を多くするのは、あまり好ましくない。そこで、分割された焦点ゾーン内の各焦点距離に関連した1つ、又は数個の係数を予め算出しておく。この係数は、シミュレーションや実機による測定に基づいて決定しておけば良い。そして、分割されたゾーン内の望遠鏡近傍で、ほぼ以下の関係を満足する補正結果が得られる場合の補正量を算出する。

$$r'(\omega) = \alpha f \tan \omega$$

そして、この補正量に対して、焦点距離毎に前記係数を一律に掛けて、最終的な補正量にしてもよい。

ところで、無限遠物体を結像させて得られた像に歪曲がない場合は、以下の関係が成立する。

$$f = y / \tan \omega$$

但し、 y は像点の光軸からの高さ（像高）、 f は結像系（本発明ではズーム光学系）の焦点距離、 ω は前記撮像面上の中心から y の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度（被写体半画角）である。

一方、結像系に樽型の歪曲収差がある場合は、以下のようになる。

$$f > y / \tan \omega$$

つまり、結像系の焦点距離 f と、像高 y とを一定とすると、 ω の値は大きくなる。

ここで、下記条件(1)は、ズーム光学系の広角端における樽型歪曲の度合いを規定したものである。この下記条件(1)を満足するのが好ましい。

$$0.8 < y_{07} / (f w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.96 \quad \dots(1)$$

但し、 $f w$ は広角端におけるズーム光学系全系の焦点距離、 y_{07} は電子撮像素子の有効撮像面内（撮像可能な面内）で中心から最も遠い点までの距離（最大高）を y_{10} としたときに $0.7 y_{10}$ で表わされる像高、 ω_{07w} は広角端における電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

より詳しくは、図2に示すように、 ω_{07w} は、像高 y_{07} の位置を通過する主光線と光軸とがなす物体側における角度であって、物体側からズーム光学系の前側主点位置に向かう主光線が光軸となす角度である。

上記条件(1)を満足すれば、光学系の大きさを小型に維持しながら、広い視野に亘って画像を取り込むことができる。なおかつ、上述の電子撮像装置に内蔵されている信号処理系等による画像処理を行う際も、画角周辺部の放射方向への引き伸ばし率が高くなることがなく、画像周辺部の鮮鋭度の劣化も目立たせずに光学系の歪曲収差による画像歪みを補正することができる。

本発明では、敢えて光学系で意図的に歪曲収差を出しておき、電子撮像素子で撮像後に電氣的に画像処理して歪みを補正している。このようにしたのは、光学系の小型化と広角化（歪曲込みの垂直方向の画角が 38° 以上）とを満たすためである。従って、本発明では、光学系自体のサイズに無駄がないように、光学系を選択することも重要である。

ズーム光学系を広角化しても小型化を維持するためには、入射瞳位置を出来る限り浅くする（物体側に近づける）ことが必要である。従って、ズーム光学系における変倍をつかさどるレンズ群は、開口絞りよりも像側に配置するのがよい。

また、小型化のためには、撮像素子の有効撮像領域を小さくして光学系の焦点距離を短くするのが有利である。このため、ズーム光学系は、前群が負の屈折力を持ち、後群が正の屈折力を持つ、いわゆるレトロフォーカスに相当するパワー配置とするのが有利である。

従って、本発明のズーム光学系においては、正の屈折力を有し変倍をつかさどるレンズ群B（移動レンズ群）を開口絞りよりも像側に配置し、広角端から望遠端に変倍する際に、この移動レンズ群を方向転換することなく一方向（増倍するためには物体側）にのみ移動させるようにする。そして、その際、下記条件(2)を満足するようにしている。

$$0.4 < \log r_B / \log r < 4.0 \quad \dots(2)$$

但し、 r 、 r_B は次のとおりである。

$$r = f_T / f_w$$

γB = 望遠端におけるレンズ群 B の倍率 / 広角端におけるレンズ群 B の倍率である。

但し、 f_T は望遠端におけるズーム光学系全系の焦点距離である。

上記条件(2)を満足すれば、ズーム光学系の入射瞳位置が深くならず済む。しかも、変倍時の収差変動を抑えて、結像性能を確保することができる。また、開口絞りよりも物体側にレンズ群がある場合、あるいは最も物体側にレンズ群（レンズ群 I）がある場合、このレンズ群の径、及び奥行き方向への肥大化を防ぎながら、画角を確保することができる。

なお、開口絞りよりも物体側にあるレンズ群、あるいは最も物体側に配置するレンズ群には、色収差補正やズーム比を確保するために正レンズを多用する傾向がある。このようなレンズ群における正レンズは、入射瞳位置を浅くするのに障害となる。このため、本発明においては、このようなレンズ群に用いる正レンズを 1 枚のみに留めている。

また、本発明においては、下記条件(1'), (2')の少なくともいずれか一方を満足すると、さらによい。

$$0.85 < y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.95 \quad \dots(1')$$

$$0.45 < \log \gamma B / \log \gamma < 2.5 \quad \dots(2')$$

さらに、下記条件(1''), (2'')の少なくともいずれか一方を満足すると、より一層好ましい。

$$0.88 < y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.94 \quad \dots(1'')$$

$$0.5 < \log \gamma B / \log \gamma < 1.0 \quad \dots(2'')$$

上述のように、歪曲収差の補正は、ほぼ光軸と撮像面の交点を中心として撮像面上に描いた半径 $r(\omega)$ の円周上の点を、半径 $r'(\omega)$ 円周（補正後の円周）上の点となるように、同心円状に移動することで行なう。ここで、半径 $r'(\omega)$ は、次のように表わすことができる。

$$r'(\omega) = \alpha f \tan \omega \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

撮像装置内蔵の記録媒体には、補正量 $r'(\omega) - r(\omega)$ を計算するために、半画角と像高（ $r(\omega)$ ）の関係、あるいは実像高 r と理想像高 r'/ω の関係が記録されている。

ここで、歪曲収差の補正はズーム全域で行なう必要はなく、特に樽型歪曲収差が大きくなる広角端近傍のみで行なうようにしてもよい。例えば、中間位置での焦点距離 $f_s = \sqrt{(f_w \cdot f_t)}$ 、あるいは中間と望遠端の間の焦点距離 $f_{st} = \sqrt{(f_s \cdot f_t)}$ 、あるいはこの2つの焦点距離の間の焦点距離全てにわたって補正をしないようにしてもよい。

補正が必要な焦点距離区間については、焦点距離区間をいくつかの焦点距離ゾーンに分割する。そして、各ゾーン内では同じ補正量を使用するようにする。特に焦点距離区間内の望遠端近傍で、ほぼ $r'(\omega) = \alpha f_t \tan \omega$ を満足するように補正しておく。そして、焦点距離区間内の広角端において残存する樽型歪曲量を許容することができるように、ゾーンの分割をするとよい。なお、ゾーン数は3ないし7が適当である。

次に、本発明のズーム光学系に用いるレンズ群Bについて説明する。このレンズ群Bは正の屈折力を持ち、広角端から望遠端に変倍する際に、単調に物体側に移動するレンズ群である。レンズ群Bを構成するレンズ同士の相対偏心感度は、高くなる傾向にある。特に、負レンズとその物体側に隣接する正レンズという構成の場合、両者の相対偏心感度は著しく高くなる。従って、相対偏心感度を緩和するために、レンズ群Bは、物体側から正レンズ、負レンズの順に接合された接合レンズ成分を有するのが好ましい。

その際、下記条件(3)を満足するのがよい。

$$0.30 < R_{B3}/R_{B1} < 1.2 \quad \dots(3)$$

但し、 R_{B1} はレンズ群Bの接合レンズ成分の最も物体側の面での曲率半径、 R_{B3} はレンズ群Bの接合レンズ成分の最も像側の面の光軸上での曲率半径である。

上記条件(3)を満足すれば、レンズの接合による偏心敏感度を緩和する効果を奏しながら、ズーム光学系全系の球面収差・コマ収差・非点収差を補正することができる。

また、下記条件(3')を満足すると、さらによりよい。

$$0.33 < R_{B3}/R_{B1} < 1.0 \quad \dots(3')$$

さらに、下記条件(3'')を満足すると、より一層好ましい。

$$0.36 < R_{B3}/R_{B1} < 0.8 \quad \dots(3'')$$

また、色収差補正に関し、下記条件(4)、(5)を満足するのがよい。

$$-0.7 < f_w/R_{B2} < 0.7 \quad \dots(4)$$

$$20 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad \dots(5)$$

但し、 R_{B2} はレンズ群Bの接合レンズ成分の接合面の光軸上での曲率半径、 ν_{BP} はレンズ群Bの接合レンズ成分における正レンズの媒質アッベ数、 ν_{BN} はレンズ群Bの接合レンズ成分における負レンズの媒質アッベ数である。

上記条件(4)を満足すれば、短波長の球面収差がアンダーコレクト状態やオーバーコレクト状態となることなく、軸上色収差・倍率色収差を補正することができる。

また、上記条件(5)を満足すれば、軸上色収差を十分に補正することができる。なお、上記条件(5)の上限値を上回る媒質の組み合わせは、自然界には存在しない。

また、下記条件(4')、(5')を満足すると、さらによい。

$$-0.5 < f_W / R_{B2} < 0.4 \quad \dots(4')$$

$$25 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad \dots(5')$$

さらに、下記条件(4'')、(5'')を満足すると、より一層好ましい。

$$-0.3 < f_W / R_{B2} < 0.1 \quad \dots(4'')$$

$$30 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad \dots(5'')$$

なお、レンズ群Bは、少ない移動量でもって効率的に変倍出来るように、強いパワーを持つ構成とするのがよい。従って、レンズ群Bは、接合レンズよりも物体側に1枚の正レンズを有し、全体で2群3枚のレンズ構成とするのがよい。

次に、レンズ群Iについてより詳細に説明する。入射瞳位置を浅くして小型を維持して広い画角を確保するためには、レンズ群Iを構成するエレメント数を減らすのがよい。負の屈折力を持つ光学素子についても2エレメント以下とし、レンズ群I全体で3エレメント以下とするのがよい。そのようにエレメント数を少なくすると、コマ収差や非点収差が発生しやすくなる。このため、レンズ群Iは、少なくとも1面が非球面に形成された負の屈折力を持つ光学素子を少なくとも1つ含むように構成するのがよい。

さらに、入射瞳位置を浅くするためには、レンズ群Iの最も物体側には負の屈折力を持つ光学素子を配置するのがよい。また、その形状については、次の条件式(6)を満足するようにするとよい。

$$-1.5 < (R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12}) < 1.1 \quad \dots(6)$$

但し、 R_{11} は負の屈折力を持つ光学素子の入射面の曲率半径、 R_{12} は負の屈折力を有する光学素子の射出面の曲率半径である。

入射瞳位置を浅くするには、 $(R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12})$ の値は低い方が好ましい。一方、低すぎると樽型歪曲収差が発生しやすい。

本発明では、広角化するために、樽型歪曲収差を敢えて積極的に発生させている。そして、発生した収差を、電氣的に補正させるようにする構成としている。そのため、 $(R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12})$ の値は、低い値となるようにしたほうが、小型化と広角化との二重の効果を奏することができるので好ましい。

条件式(6)を満足すれば、ズーム光学系の広角端における樽型歪曲の度合いが条件式(1)を満足し、かつ、入射瞳位置を浅くする効果を低くすることなく、小型化と広角化の効果を得ることができる。

また、次の条件式(6')を満足すると、さらによい。

$$-1.3 < (R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12}) < 0.6 \quad (6')$$

さらに、次の条件式(6'')を満足すると、より一層好ましい。

$$-1.1 < (R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12}) < 0.1 \quad (6'')$$

さらに、カメラの奥行きを薄くする手段としては、結像光学系の光路（光軸）の折り曲げがある。この場合、出来る限り結像光学系の物体側で折り曲げるほど、奥行きを薄型化する効果が大きくなる。

従って、本発明では、レンズ群Iは、光路を折り曲げるための反射光学素子を有するのがよい。そして、次の条件式(7)を満足するのがよい。

$$0.3 < d_F / d_P < 0.7 \quad \dots(7)$$

但し、 d_F はレンズ群Iにおける最も物体側の面と光軸との交点から最初の反射面と光軸との交点までの距離、 d_P は反射面よりも物体側に最も近い屈折面（プリズムの場合は入射面）と光軸との交点から反射面よりも像側に最も近い屈折面（プリズムの場合は射出面）と光軸との交点までの光軸に沿って測った距離である。

条件式(7)を満足すれば、入射瞳位置との関係でレンズ群Iが大型化することなく、かつ、コストの発生量を抑えて、カメラの奥行きを薄くすることができる。

また、反射面は、極力レンズ群 I の物体側に配置するのがよい。但し、光路折り曲げ位置よりも物体側に負の屈折力がないと、入射瞳位置が結像光学系の最も物体側の面よりも遠く（深く）になってしまう。特に光路を折り曲げる反射光学素子をプリズムで構成する場合は、その入射面を凹面に形成するのがよい。そして、このプリズムは、レンズ群 I において最も物体側に配置し、次の条件式(8)を満足するのがよい。

$$-7 < R_{11}/y_{10} < -1.5 \quad \dots(8)$$

但し、 R_{11} は第1レンズ群 I において最も物体側の面の光軸上の曲率半径、 y_{10} は前記電子撮像素子の有効撮像面内（撮像可能な面内）で中心から最も遠い点までの距離（最大像高）である。

条件式(8)を満足すれば、光路折り曲げ位置よりも物体側の負の屈折力が弱くならず、また入射瞳位置が深くなりすぎることはない。その結果、プリズムの肥大化を抑えることができる。しかも、プリズムより像側での光線高を抑えることができるので、後続のレンズや絞り径の肥大化を抑えることができる。その結果、カメラの奥行きを薄型化することができる。

また、次の条件式(7')を満足すると、さらによい。

$$0.35 < d_F/d_P < 0.6 \quad \dots(7')$$

さらに、次の条件式(7'')を満足すると、より一層好ましい。

$$0.4 < d_F/d_P < 0.55 \quad \dots(7'')$$

また、次の条件式(8')を満足すると、さらによい。

$$-5.5 < R_{11}/y_{10} < -2 \quad \dots(8')$$

さらに、次の条件式(8'')を満足すると、より一層好ましい。

$$-4.5 < R_{11}/y_{10} < -2.5 \quad \dots(8'')$$

なお、カメラの奥行きを薄くするには、反射光学素子としてプリズムを採用するのが最も有利である。プリズム媒質のd線に対する屈折率は高い方が好ましく、1.68以上が良く、1.75以上が理想的である。

また、プリズムの入射面を、光軸から離れるほど曲率が小さくなる非球面にするのが好ましい。更に、光軸上での曲率半径について次の条件式(9)を満足するのが好ましい。

$$-0.70 \leq f_w \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.20 \quad \dots(9)$$

但し、 f_w は広角端における全系の焦点距離、 n_1 はプリズムの媒質屈折率（基準波長）、 R_{11} はプリズム入射面の光軸上での曲率半径である。

条件式(9)を満足すれば、曲率が強すぎず、各軸外収差の悪化を抑えることができる。しかも、入射瞳位置が深くなりすぎず、プリズムが肥大化傾向となるのを抑えることができる。

また、次の条件式(9')を満足すると、さらによい。

$$-0.60 \leq f_w \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.25 \quad \dots(9')$$

さらに、次の条件式(9'')を満足すると、より一層好ましい。

$$-0.50 \leq f_w \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.30 \quad \dots(9'')$$

ところで、ズームレンズには駆動機構が不可欠である。仮に、光学系が小さくなっても駆動機構が複雑で大型化しては意味がない。本発明の電子撮像装置の場合、奥行き方向を薄くすることを目的の一つとしている。そのため、駆動機構を含むズームレンズ（以下、ズームレンズユニットと呼ぶ）の径が大きくなるのは好ましくない。

ズームレンズユニットの径を小さくするには、ズーム時にシャッターユニットの位置を移動しないこと、絞り径を小さくすること、及びそれらやレンズ群の移動量を小さくすることが必要である。これらを同時に満たすには、レンズ群Ⅰは全体として正の屈折力を持つように構成するのがよい。この場合、レンズ群Ⅰの像側に、負の屈折力を持ち光軸を移動することで変倍機能を有するレンズ群Ⅱを配置し、さらにその像側にレンズ群Ⅲが続く構成とするのが良い。

つまり、変倍機能を有するレンズ群を、レンズ群Ⅱとレンズ群Ⅲとに二分することになるので、レンズ群の移動量が減る。さらに、レンズ群Ⅱとレンズ群Ⅲとは互いに異符号の屈折力を持つため、変倍時に逆方向に移動するようになる。従って、レンズ群Ⅱとレンズ群Ⅲとの間に開口絞りとシャッターを配置すれば、変倍時に開口絞りやシャッターの位置を移動する必要がなくなる。しかも開口径を小さくすることができる。

なお、レンズ群Ⅰは、正の屈折力を持ちながら、レンズ群Ⅰ内での光線高を低く押さえて大型化を防ぎ、かつ、各収差を良好に補正できるのが好ましい。そのためには、レンズ群Ⅰは、物体側から順に、入射面が物体側に凹面を向けた光路を折り曲げるための反射光学素子と正レンズとで構成するのがよい。

さらに、反射光学素子の入射面を、光軸から離れるほど曲率が小さくなる非球面とするのが良い。このようにすれば、歪曲収差の発生量を比較的自由に制御でき、かつ、コマ収差を良好に補正することができるので好ましい。

加えて、正レンズも、反射光学素子と同様に、少なくとも1面を光軸から離れるほど曲率が小さくなる非球面に形成するのがよい。なお、このように構成した場合、レンズ群Iの偏心感度が大きくなり易い。そのため、レンズ群Iは変倍時に固定とするのがよい。

また、本発明においては、合焦のために移動するレンズ群（レンズ群Fとする）は、レンズ群Bの像側に配置するのがよい。このようにすれば、近軸倍率が-1倍になったり、変倍時に収差が大きく変動したり、繰り出し量が大きくなり過ぎたりすることがない。また、前記レンズ群Fは、最も像側のレンズ群としてもよいが、さらに像側に固定のレンズ群（レンズ群Cとする）を設けてもよい。

レンズ群Iは、正の屈折力を有する場合は、物体側から順に、プリズムと、正レンズとの2つのエレメントで構成するのがよい。このプリズムは、入射面が非球面形状の凹面であり、かつ、光路を折り曲げるための反射面を含む。また、このプリズムは、特に、上記条件式(9)、(9')、(9'')の少なくともいずれかを満足するように、負の屈折力を持つのがよい。そうすると、入射瞳位置を浅くして、プリズムの小型化を維持することができる。

また、レンズ群I全体としては、レンズ群IIの変倍効率を高めるために、レンズ群Iは出来る限り強い屈折率を持つようにする必要がある。この場合、次の条件式(10)を満足するのが好ましい。

$$2.0 \leq f_1 / f_w \leq 10.0 \quad \dots(10)$$

但し、 f_1 はレンズ群I全体の焦点距離である。

条件式(10)を満足すれば、軸外収差や色収差の補正が困難になることも、プリズムが肥大化することもなく、レンズ群IIの変倍率を大きくとることができる。

また、次の条件(10')を満足すると、さらによい。

$$2.5 \leq f_1 / f_w \leq 8.0 \quad \dots(10')$$

さらに、次の条件式(10'')を満足すると、より一層好ましい。

$$3.0 \leq f_{12}/f_w \leq 6.0 \quad \dots(10'')$$

従って、レンズ群 I に備わる正レンズは、次の条件式(11)を満足するように構成するのが良い。このようにすれば、透過する軸外光線の高さに対する屈折率の割合を強くすることができる。同時に、正レンズの形状も次の条件式(12)を満足するのが好ましい。

$$1.3 \leq f_{12}/f_w \leq 4.0 \quad \dots(11)$$

$$-1.1 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < 0.2 \dots (12)$$

但し、 f_{12} はレンズ群 I における正レンズの焦点距離、 R_{1PF} はレンズ群 I における正レンズの物体側面の光軸上での曲率半径、 R_{1PR} はレンズ群 I における正レンズの像側面の光軸上での曲率半径である。

条件式(11)を満足すれば、移動量の割にレンズ群 II の変倍率が低く、光学系が大きくなるのを抑えることができる。しかも、コマ収差、非点収差などの軸外収差の補正が、困難となるのも抑えることができる。また、条件式(12)を満足すれば、レンズ群 I の主点が像側に位置する傾向とならず、レンズ群 II の変倍効率を良好に保つことができる。さらに、コマ収差の発生を抑えることもでき、かつ、曲率の強いメニスカス形状とはならないので、レンズ群 II と干渉することもない。

また、次の条件式(11'), (12')を満足すると、さらによい。

$$1.5 \leq f_{12}/f_w \leq 3.6 \quad \dots(11')$$

$$-0.9 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < 0.2 \quad \dots(12')$$

さらに、次の条件式(11''), (12'')を満足すると、より一層好ましい。

$$1.7 \leq f_{12}/f_w \leq 3.2 \quad \dots(11'')$$

$$-0.7 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < -0.2 \quad \dots(12'')$$

なお、上記条件(11), (12)を満足しても、軸外収差の補正は十分でない場合がある。このため、本発明においては、正レンズの物体側の面に、光軸から離れるに従って収斂性が弱まる非球面を導入するのが好ましい。このようにすれば、各軸外収差の顕著な改善効果が得られる。

さらに、レンズ群 II について説明する。レンズ群 II については、物体側から負レンズ、正レンズの順の 2 枚のレンズで構成するのがよい。さらに、この負レンズは、少なくとも

もいずれか一方の面を非球面に形成するのがよい。加えて、次の条件式(13)を満足するとよい。

$$-1.0 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 1.0 \dots (13)$$

但し、 R_{2NF} はレンズ群Ⅱにおける負レンズの物体側の面の光軸上での曲率半径、 R_{2NR} はレンズ群Ⅱにおける負レンズの像側の面の光軸上での曲率半径である。

条件式(13)を満足すれば、コマ収差や樽型歪曲収差の発生を抑えることができる。

また、次の条件式(13')を満足すると、さらによい。

$$-0.7 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 0.6 \dots (13')$$

さらに、次の条件式(13'')を満足すると、より一層好ましい。

$$-0.4 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 0.2 \dots (13'')$$

次に、本発明の電子撮像装置において適用可能な光学的ローパスフィルターについて説明する。電子撮像素子を用いたレンズ系では、通常、結像光学系と電子撮像素子との間に、複屈折を利用した光学的ローパスフィルターを配置する。しかし、これが小型化や収差の最適化の障害になる。このため、光学的ローパスフィルターは、できる限り薄いものを使用するのが望ましい。

光学的ローパスフィルターを薄くするには、次の条件式(14)を満足して、複屈折光学素子の常光線と異常光線のそれぞれに対する屈折率差を大きくするのがよい。

$$5 < n_e \cdot n_o / |n_e^2 - n_o^2| < 20 \dots (14)$$

但し、 n_e は複屈折光学素子の異常光線に対する屈折率、 n_o は複屈折光学素子の常光線に対する屈折率である。

条件式(14)を満足すれば、肉厚が厚くなりすぎず、小型化に好適である。しかも、可視光を十分透過することのできる光学的ローパスフィルターが実現できる。

また、次の条件式(14')を満足すると、さらによい。

$$7 < n_e \cdot n_o / |n_e^2 - n_o^2| < 15 \dots (14')$$

さらに、次の条件式(14'')を満足すると、より一層好ましい。

$$9 < n_e \cdot n_o / |n_e^2 - n_o^2| < 11 \dots (14'')$$

光学的ローパスフィルターは、折り返し歪みが発生するのを防止するために必要となる。折り返し歪みは、結像光学系がナイキスト周波数以上の成分を持ち過ぎた時に生じ

る現象である。しかし、ある程度以上画素サイズが小さくなると、回折の影響によりナイキスト周波数以上の成分がなくなる。従って、本発明の電子撮像装置では、次の条件式(15)を満足する撮像素子を使用するのが好ましい。

$$Fw \geq a \text{ (}\mu\text{m)} \quad \dots(15)$$

但し、 Fw は広角端における解放 F 値、 a は撮像素子の水平方向の画素間距離（単位： μm ）である。より詳しくは、無名数である。なお、画素間距離は画素ピッチでもよい。

条件式(15)を満足すれば、光学的ローパスフィルターを用いなくても、折り返し歪みを許容できる程度に抑えることができる。

また、次の条件式(15')を満足すると、さらによい。

$$Fw \geq 1.2a \text{ (}\mu\text{m)} \quad \dots(15')$$

さらに、次の条件式(15'')を満足すると、より一層好ましい。

$$Fw \geq 1.4a \text{ (}\mu\text{m)} \quad \dots(15'')$$

条件式(15)を満足しない場合は、光学的ローパスフィルターが必要となる。その場合は、以下に述べるように構成して、出来る限り、光学的ローパスフィルターを薄くするのがよい。

一般的に光学的ローパスフィルターは、水晶の様な単軸結晶が有する複屈折作用を利用している。光学的ローパスフィルターは、1つの上記結晶（複屈折作用を有する結晶）で構成されている場合や、複数の上記結晶で構成されている場合がある。なお、光学的ローパスフィルターが複数の上記結晶で構成されている場合、各々の結晶が光学的ローパスフィルターとなる。

そして、いずれの場合においても、ズームレンズの光軸に対して結晶軸のなす角が、35度から55度の範囲となっている。また、複数の上記結晶で構成されている場合、各々の結晶軸を像面に投影したときの方向はそれぞれ異なるように構成されている。

このような光学的ローパスフィルターを含む場合、その中でズームレンズ光軸上に沿った厚みが最も厚い光学的ローパスフィルターの肉厚 t_{LPF} (mm)が、次の条件式(16)、(17)を満足するようにするとよい。

$$\begin{aligned} a < 4\mu\text{m} \text{ のとき} \\ 0.08a < t_{\text{LPF}} < 0.16a \end{aligned} \quad \dots(16)$$

$a < 3 \mu\text{m}$ のとき

$$0.075a < t_{\text{LPF}} < 0.15a \quad \dots(17)$$

但し、 t_{LPF} (mm) はズームレンズの光軸に沿って最も厚く、ズームレンズの光軸とのなす角が35度から55度の範囲に1つの結晶軸を有する光学的ローパスフィルターの肉厚、 a は電子撮像素子の水平画素ピッチ (単位 μm) である。

1枚あるいは複数枚で構成された光学的ローパスフィルターのうち、最も厚い光学的ローパスフィルターは、ナイキスト限界周波数にて理論上コントラストがゼロになるように、その厚さが設定されている。このときの厚みは、およそ $a/5.88$ (mm) である。 $a/5.88$ (mm) よりも厚くすると、モアレ縞の様な偽信号の防止には効果があるが、撮像素子の持つ分解能を十分に発揮することが出来なくなる。一方、 $a/5.88$ (mm) よりも薄くすると、モアレ縞のような偽信号が十分に除去できない。

しかし、モアレ縞のような偽信号は、ズームレンズなど撮影レンズの結像性能とも深く関連している。例えば、結像性能が高い場合は、モアレ縞のような偽信号が発生しやすい。このため、光学的ローパスフィルターの肉厚は、結像性能が高い場合はやや厚めに、結像性能がそれほど高くない場合はやや薄めに設定するのがよい。

一方、画素ピッチが小さくなるにつれて、結像レンズ系の回折の影響により、ナイキスト限界以上の周波数成分のコントラストが減少する。そのため、モアレ縞のような偽信号の発生は少なくなる。従って、このような場合は、 $a/5.88$ (mm) より数%～数十%程度、厚みを薄くする。このようにすると、むしろ所定の空間周波数でのコントラストが向上するので好ましい。ここで、所定の空間周波数は、ナイキスト限界に相当する周波数以下の空間周波数である。

なお、次の条件式(16'), (17')を満足するようにすれば、より効果的である。

$a < 4 \mu\text{m}$ のとき

$$0.075a < t_{\text{LPF}} < 0.15a \quad \dots(16')$$

$a < 3 \mu\text{m}$ のとき

$$0.07a < t_{\text{LPF}} < 0.14a \quad \dots(17')$$

さらに、次の条件式(16''), (17'')を満足するようにすれば、より一層効果的である。

$$a < 4 \mu m \text{ のとき} \\ 0.07a < t_{LPF} < 0.14a \quad \dots(16'')$$

$$a < 3 \mu m \text{ のとき} \\ 0.065a < t_{LPF} < 0.13a \quad \dots(17'')$$

また、 $a < 4 \mu m$ とする場合において厚みを薄くしすぎると、光学的低パスフィルターの加工が困難である。そこで、光学的低パスフィルターをあまり薄くせずに、つまり条件式(16)、(16')、(16'')の上限を上回っても、コントラストがゼロになる空間周波数（カットオフ周波数）を高くする別の方法がある。

その1つは、ズームレンズの光軸に対して光学的低パスフィルターの結晶軸がなす角を15度から35度の範囲、もしくは55度から75度の範囲となるようにすることである。この角度の範囲においては、入射光の常光線と異常光線への分離量が45度近傍のときよりも少なくなる。なお、0度もしくは90度になったときには、入射光は常光線と異常光線に分離しなくなる（ただし、90度の場合は両者に速度差が生じ、位相差が発生する... $\lambda/4$ 板の原理）。別の1つは、場合によっては、光学的低パスフィルターを省略することである。

さらに、上述のように、画素ピッチが小さくなると、回折の影響でそれに見合った高い空間周波数での結像性能が劣化してくる。そのため、Fナンバーを大きくすることが困難である。従って、カメラの開口絞りの種類を、幾何収差による劣化の大きな開放と回折限界近傍の絞り値の2種類のみとすれば、光学的低パスフィルターはなくてもよい。

特に画素ピッチが小さく、開放時の結像性能が最もよい場合などは、撮像面への入射光束サイズを規制する手段として、内径が可変の絞りや、内径の異なる絞りを入れ替える方法を用いなくとも良い。例えば、常に内径が固定の開口絞りをを用いるとともに、光路中のいずれかの場所に透過率可変手段を設けるのがよい。

透過率可変手段を光路に挿入する場合、透過率の異なる光学素子を交換する方法もある。例えば、エレクトロクロミック素子のように、透過率が電圧等により可変である光学素子を使用してもよい。図3は、エレクトロクロミック素子の分光透過率特性をグラ

フで示したものである。その場合、波長520nmでの最大透過率 τ_{max} (≥ 0.7)と最小透過率 τ_{min} (≤ 0.3)との比を2.5以上にするのがよい。好ましくは3.5以上にするのがよい。

また、 $\tau_{min} \leq \tau_{520} \leq \tau_{max}$ 全域で分光透過率が次の条件式(18), (19)を満足するとよい。

$$\tau_{440} / \tau_{520} > 0.7 \quad \dots(18)$$

$$\tau_{600} / \tau_{520} > 0.8 \quad \dots(19)$$

但し、 τ_x (xは数字)は波長xnmでの透過率である。

また、次の条件式(18'), (19')を満足すると、さらによい。

$$\tau_{440} / \tau_{520} > 0.75 \quad \dots(18')$$

$$\tau_{600} / \tau_{520} > 0.85 \quad \dots(19')$$

さらに、次の条件式(18''), (19'')を満足すると、より一層好ましい。

$$\tau_{440} / \tau_{520} > 0.8 \quad \dots(18'')$$

$$\tau_{600} / \tau_{520} > 0.9 \quad \dots(19'')$$

なお、光学的ローパスフィルターは、結像レンズ系の最も像側のレンズ群よりも像側に配置するのがよい。しかし、光学的ローパスフィルターは極めて薄いため、強度上の問題がある。従って、最も像側に配置されたレンズの像側の面を平面として、その平面に光学的ローパスフィルターを接合するとよい。あるいは、撮像素子のカバーガラスに、光学的ローパスフィルターを接合してもよい。

また、赤外光をカットするための手段については、いずれかの平面部に赤外光カット膜をコーティングするとよい。

透過率可変光学素子としては、上述したエレクトロクロミック素子がある。このエレクトロクロミック素子は、電氣的に化学変化をして透過率が変化する物質を、透明電極を有した2枚の基盤ガラスで挟んだ素子である。このような透過率可変光学素子を、光路のいずれかの場所に挿入するとよい。この場合、上述した合焦のために移動するレンズ群Fよりも像側に、エレクトロクロミック素子を挿入するのが好ましい。あるいは、透過率可変光学素子において、2枚の基盤ガラスのうち1枚を、平面を有する光学素子

の平面で代用してもよい。特に、最終レンズの像側の面が平面の場合には、2枚の基盤ガラスをレンズの平面と光学的ローパスフィルターとで代用してもよい。

次に、赤外カットフィルターについて説明する。電子撮像装置では、通常赤外光が撮像面に入射しないように、一定の厚みのある赤外吸収フィルターを撮像素子よりも物体側に挿入している。そこで、電子撮像装置における光学系を短くあるいは薄くするために、赤外吸収フィルターを厚みのないコーティングに置き換えることを考える。すると、当然その分薄くなるが、さらに次のような副次的効果がある。

例えば、ズームレンズ系の後方にある撮像素子よりも物体側に、波長600nmでの透過率が80%以上、波長700nmでの透過率が8%以下の近赤外シャープカットコートを導入する。すると、吸収タイプよりも波長700nm以上の近赤外領域の透過率が低く、かつ、相対的に赤側の透過率が高くなる。この場合、補色モザイクフィルターを有するCCDなどの固体撮像素子で生じていた、青紫側のマゼンダ化傾向という欠点が、ゲイン調整により緩和される。その結果、原色フィルターを有するCCDなどの固体撮像素子並みの色再現を得ることができる。また、原色・補色に限らず、植物や人肌の様に近赤外領域に強い反射率を有するものの色再現が改善される。

即ち、次の条件式(20)、(21)を満足するのが望ましい。

$$\tau_{600} / \tau_{550} \geq 0.8 \quad \dots(20)$$

$$\tau_{700} / \tau_{550} \leq 0.08 \quad \dots(21)$$

但し、 τ_{600} は波長600nmでの透過率、 τ_{550} は波長550nmでの透過率、 τ_{700} は波長700nmでの透過率である。

また、次の条件式(20')、(21')を満足すると、さらによい。

$$\tau_{600} / \tau_{550} \geq 0.85 \quad \dots(20')$$

$$\tau_{700} / \tau_{550} \leq 0.05 \quad \dots(21')$$

さらに、次の条件式(20'')、(21'')を満足すると、より一層好ましい。

$$\tau_{600} / \tau_{550} \geq 0.9 \quad \dots(20'')$$

$$\tau_{700} / \tau_{550} \leq 0.03 \quad \dots(21'')$$

CCDなどの固体撮像素子のもう1つの欠点は、近紫外域の550nmの波長に対する感度が、人間の眼のそれよりもかなり高いことである。これも、近紫外域の色収差に

よる画像のエッジ部の色にじみを目立たせている。特に光学系を小型化すると、致命的である。従って、波長400nmでの透過率(τ_{400})の波長550nmでの透過率(τ_{550})に対する比が0.08を下回り、波長440nmでの透過率(τ_{440})の波長550nmでの透過率(τ_{550})に対する比が0.4を上回るような吸収体あるいは反射体を、光路上に挿入するのがよい。このようにすれば、色再現上必要な波長域を失わず(良好な色再現を保ったまま)、色にじみなどのノイズがかなり軽減される。

即ち、次の条件式(22), (23)を満足するのが望ましい。

$$\tau_{400} / \tau_{550} \leq 0.08 \quad \dots(22)$$

$$\tau_{440} / \tau_{550} \geq 0.4 \quad \dots(23)$$

また、次の条件式(22'), (23')を満足すると、さらによい。

$$\tau_{400} / \tau_{550} \leq 0.06 \quad \dots(22')$$

$$\tau_{440} / \tau_{550} \geq 0.5 \quad \dots(23')$$

さらに、次の条件式(22''), (23'')を満足すると、より一層好ましい。

$$\tau_{400} / \tau_{550} \leq 0.04 \quad \dots(22'')$$

$$\tau_{440} / \tau_{550} \geq 0.6 \quad \dots(23'')$$

なお、これらのフィルターの設置場所は、結像光学系と撮像素子の間がよい。

一方、補色フィルターは、その透過光エネルギーの高さから原色フィルター付きCCDと比べて実質的感度が高く、かつ、解像も有利である。そのため、小型CCDを使用したときのメリットが大である。

なお、上記各条件式や各構成は、適宜組み合わせることで、より良好な電子撮像装置を構成できる。また、各条件式においては、その上限値のみ、もしくは下限値のみを、より好ましい条件式の対応する上限値、下限値で限定してもよい。また、後述の各実施例に記載の条件式の対応値を、上限値または下限値としてもよい。

また、奥行きが薄い撮像装置に適した光学系において、結像性能を確保し、さらに広い画角を確保しようとする場合は、次のようにする。一つは、レンズの構成枚数を出来るだけ減らすことである。他の1つは、出来るだけ光学系の入射側で、光路を曲げるようにすることである。

光学系の基本構成としては、正の屈折力を有する第1レンズ群を最も物体側に配置し、第1レンズ群よりも像側に負の屈折力を有する第2レンズ群配置し、第2レンズ群よりも像側に正の屈折力を有する第3レンズ群を配置した構成とする。そして、このような構成において、光学系の前側レンズ群から変倍をつかさどるレンズ群にかけて、複数の非球面を効果的に用いるようにする。

そこで、非球面の配置としては、(1) 第1レンズ群G 1に、2面以上配置するか、(2) 第2レンズ群G 2と第3レンズ群G 3を合わせたレンズ群に、4面以上配置するか、(3) 第1レンズ群G 1と第2レンズ群G 2を合わせたレンズ群に、4面以上配置するか、(4) 第1レンズ群G 1と第3レンズ群G 3に、それぞれ2面以上配置するか、(5) 第2レンズ群G 2とG 3に、それぞれ2面以上配置するか、(6) 2面以上の非球面を有する第3レンズ群を3つ配置するかの何れかとするのが良い。

また、3つの各レンズ群に、それぞれ2面ずつの非球面を導入してもよい。この場合、第1レンズ群G 1の場合は物体側から発散面、収斂面の順に導入するのがよい。また、第2レンズ群G 2の場合は負レンズにのみ、第3レンズ群G 3の場合は正レンズにのみ、非球面を導入するのが良い。以上の非球面は、広角側での歪曲収差、望遠側でのコマ収差、変倍による球面収差、コマ収差の変動の補正には不可欠である。

なお、各レンズ群は、最小限の要素で構成するのが好ましい。第1レンズ群G 1は、物体側から光路に沿って順に、発散性を有する光学素子と正レンズの2要素を配置した構成とするのが良い。第2レンズ群G 2は、物体側から光路に沿って順に、両凹レンズと正レンズを配置した構成とするのが良い。第3レンズ群G 3は、物体側から光路に沿って順に、正の単レンズと、正のレンズと像側に強い凹面を向けた負レンズ成分の2群3枚を配置した構成とするのが良い。また、フォーカスのためには、移動可能なレンズ群を、第3レンズ群G 3の像側に、第4レンズ群G 4（フォーカス群F）として配置するのが良い。

さらに、第2レンズ群G 2、第3レンズ群G 3に関して、その倍率が下記条件式(24)、(25)を満足するようにすると良い。

$$-1.0 \leq \beta_{2W} \leq -0.4 \quad (24)$$

$$-1.0 \leq \beta_{3W} \leq -0.4 \quad (25)$$

但し、 $\beta 2W$ 、 $\beta 3W$ はそれぞれ第2レンズ群G2、第3レンズ群G3の広角端における倍率である。

条件(1)の下限を下回ると、第2レンズ群G2の移動による変倍比が小さくなりやすい。また、上限を上回ると、第3レンズ群G3の移動による変倍比が小さくなりやすい。条件(1)の範囲内の場合には、第3レンズ群G3の倍率は条件(2)のようになる。

そして、少なくとも下記条件式の何れかを満たすとより良い。

$$-0.9 \leq \beta 2W \leq -0.45 \quad (24')$$

$$-0.9 \leq \beta 3W \leq -0.45 \quad (25')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れかを満たすと最も良い。

$$-0.8 \leq \beta 2W \leq -0.5 \quad (24'')$$

$$-0.8 \leq \beta 3W \leq -0.5 \quad (25'')$$

第4レンズ群G4は変倍時に移動しても良い。ただし、フォーカスアクチュエーターの小型化も考慮して、変倍時の移動も含めた移動範囲が下記条件式を満たすようにすると良い。

$$0.8 \times 10^2 < M4 \times S1 < 6.0 \times 10^2 \quad (26)$$

但し、M4は第4レンズ群G4があらゆる状態の中で最も物体側に位置する時と最も像側に位置する時の距離差、S1は第4レンズ群G4が最も物体側に位置する時に合焦されている被写体から光学系の入射面までの距離(mm)である。

条件(26)の上限を上回ると、フォーカスのためのアクチュエーターが肥大化する。

なお、下記条件式を満たすとより良い。

$$1.2 \times 10^2 < M4 \times S1 < 5.5 \times 10^2 \quad (26')$$

さらに、下記条件式を満たすと最良である。

$$1.6 \times 10^2 < M4 \times S1 < 5.0 \times 10^2 \quad (26'')$$

また、光学系からの光線射出角を適性にするために、光学系の最も像側に別のレンズ群(以下、最終レンズ群とする)を、像面に対して位置をほぼ固定して配置しても良い。さらに、最終レンズ群は単レンズで構成し、下記条件式を満たすようにすると良い。

$$-0.10 < fw/fr < 0.50 \quad (27)$$

但し、 f_R は最終レンズ群の焦点距離である。

条件(27)の下限を下回ると第4レンズ群G4のパワーが増加し、フォーカスによる収差変動が大きくなる。また、上限を上回ると第4レンズ群G4の移動量が増加し、フォーカスアクチュエーターが肥大化しやすい。

なお、下記条件式を満たすとより良い。

$$-0.06 < f_w / f_R < 0.40 \quad (27')$$

さらに、下記条件式を満たすと最良である。

$$-0.02 < f_w / f_R < 0.32 \quad (27'')$$

さらに、下記条件式をも満たすと良い。

$$40 < \nu_F \quad (28)$$

$$25 < \nu_R < 60 \quad (29)$$

但し、 ν_F 、 ν_R はそれぞれ第4レンズ群G4と最終レンズ群を単レンズで構成したときの媒質のアッベ数である。

条件(28)の下限を下回ると、フォーカスによる色変動が大きくなる。また、条件(29)の上限を上回ると、倍率色収差が補正過剰となり、下限を下回ると倍率色収差が補正不足となりやすい。

また、少なくとも下記条件式のいずれか一方を満たすと、より良い。

$$45 < \nu_F \quad (28')$$

$$25 < \nu_R < 50 \quad (29')$$

さらに、少なくとも下記条件式のいずれか一方を満たすと最良である。

$$50 < \nu_F \quad (28'')$$

$$25 < \nu_R < 40 \quad (29'')$$

電子撮像装置の奥行きを薄くする方法の1つとして、出来るだけ光学系の入射側で光路を折り曲げるのが良いことは、前述の通りである。第1レンズ群G1は像面に対して位置をほぼ固定されている。この第1レンズ群G1の発散性を有する光学素子は、最も物体側に配置される。この光学素子としては、物体側に凹面を向けた入射面と、光路を折り曲げるための反射面を有するプリズムが適切である。そして、入射面を、光軸から

離れるに従って発散性が弱まる非球面とするのが良い。さらに、その像側に配置されている正レンズの物体側の面も、非球面にするのが良い。

因みに、第2レンズ群G 2に非球面を導入するには、負レンズの片面もしくは両面に導入するのが良い。また、第3レンズ群G 3に非球面を導入する場合は、正レンズの1面もしくは2面に導入するのが良い。

なお、レンズ群G 1に関して下記条件式を満たすと良い。

$$3.3 < \nu_{12} < 7.5 \quad (3.0)$$

$$1.55 < n_{12} \quad (3.1)$$

但し、 ν_{12} および n_{12} はそれぞれ第1レンズ群G 1の正レンズの媒質アッベ数および媒質屈折率である。

条件(3.0)の上限を上回ると倍率色収差が補正不足となり、下限を下回ると倍率色収差が過剰となる。また、条件(3.1)の下限を下回ると望遠側でコマ収差が発生しやすくなる。

また、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすとより良い。

$$3.3 < \nu_{12} < 5.5 \quad (3.0')$$

$$1.65 < n_{12} \quad (3.1')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすと最良である。

$$3.3 < \nu_{12} < 5.0 \quad (3.0'')$$

$$1.73 < n_{12} \quad (3.1'')$$

開口絞りについては、第2レンズ群G 2と第3レンズ群G 3との間に、像面に対してほぼ位置が固定であるように配置する。そして、開口絞りよりも入射側は、プリズム1要素と3枚以下の単レンズで構成するのが良い。このようにすると、入射瞳位置を出来るだけ浅くして、光路折り曲げまわりを小型化することができる。また、第2レンズ群G 2と第3レンズ群G 3は、開口絞りを挟んで隣接している。このとき、広角端における第2レンズ群G 2の最も像側の面頂から絞り開口までの光軸に沿った距離をD 2、絞り開口から第3レンズ群G 3の最も物体側の面頂までの光軸に沿った距離をD 3としたとき、下記条件式を満足すると良い。

$$0.50 < D3 / D2 < 1.40 \quad (32)$$

条件(32)の上限を上回ると望遠端のF値が暗くなりやすい。一方、下限を下回るとプリズムが肥大化しやすい。

さらに、負の屈折力を有する第2レンズ群G2では負レンズに、正の屈折力を有する第3レンズ群G3では正レンズに、共に非球面を導入するのが良い。これにより、変倍時の第2レンズ群G2と第3レンズG3の動きによる収差変動を、出来るだけ小さくすることができる。出来れば2面ずつ設けるのが好ましい。なお、下記条件式を満たすとより良い。

$$0.60 < D3 / D2 < 1.30 \quad (32')$$

さらに、下記条件式を満たすと最良である。

$$0.70 < D3 / D2 < 1.20 \quad (32'')$$

本発明のズームレンズは、入射面が発散面である関係上、物体側に凹面を向ける形状になる。しかも、そのパワーは強い。そのため、樽型歪曲収差が発生しやすい。しかし、歪曲収差を許容すると、画角の割りに入射光線高が低くなる。よって、プリズムを小さくすることが可能である。

そこで、本発明のズームレンズ光学系においては、意図的に樽型歪曲収差を野放し的に発生させている。そして、この状態で、結像光学系を通じて結像された像を、電子撮像素子にて撮像する。但し、得られた画像データをそのまま使わずに、加工を行う。具体的には、形状を変化させる画像処理などの機能を用いて、光学系で発生した歪曲収差による画像の歪みを補正して観察できるようにする。特に、カメラなど電子撮像装置から、既に補正された形の画像データとして出力するのが理想的である。

なお、その場合、光学系については、略無限遠物点合焦時に、結像光学系の歪曲収差に関して下記条件式を満足すると良い。

$$0.75 < y_{0.7} / (fw \times \tan \omega_{0.7w}) < 0.96 \quad (33)$$

$$1.0 < fw / y_{1.0} < 2.1 \quad (34)$$

但し、電子撮像素子の有効撮像面内（撮像可能な面内）で中心から最も遠い点までの距離（最大像高）を $y_{1.0}$ とすると、 $y_{0.7} = 0.7 y_{1.0}$ 、 $\omega_{0.7w}$ は広角端における撮像面上

の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対応する物点方向の光軸に対する角度である。なお、少なくとも下記条件式の何れかを満たすとより良い。

$$0.80 < y_{07} / (fw \times \tan \omega_{07n}) < 0.95 \quad (33')$$

$$1.1 < fw / y_{10} < 2 \quad (34')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れかを満たすと最良である。

$$0.85 < y_{07} / (fw \times \tan \omega_{07n}) < 0.94 \quad (33'')$$

$$1.2 < fw / y_{10} < 1.9 \quad (34'')$$

また、本発明によるズームレンズは、物体側から光路に沿って順に配置された、光路を折り曲げるための反射面を有し正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第1移動レンズ群と、広角端から望遠端に変倍する際に単調に物体側に移動する第2移動レンズ群とを含み、下記条件式とともに満足するように構成することができる。

$$-1.0 \leq \beta_{2W} \leq -0.40 \quad (35)$$

$$-1.0 \leq \beta_{3W} \leq -0.40 \quad (36)$$

但し、 β_{2W} 、 β_{3W} はそれぞれ第1移動レンズ群、第2移動レンズ群の広角端における倍率である。

条件(35)の下限を下回ると、第1移動レンズ群の移動による変倍比が小さくなりやすい。また、上限を上回ると、第2移動レンズ群の移動による変倍比が小さくなりやすい。条件(35)の範囲内の場合には、第2移動レンズ群の倍率は条件(36)のようになる。また、少なくとも下記条件式のいずれか一方を満たすとより良い。

$$-0.9 \leq \beta_{2W} \leq -0.45 \quad (35')$$

$$-0.9 \leq \beta_{3W} \leq -0.45 \quad (36')$$

さらに、少なくとも下記条件式のいずれか一方を満たすと最良である。

$$-0.8 \leq \beta_{2W} \leq -0.50 \quad (35'')$$

$$-0.8 \leq \beta_{3W} \leq -0.50 \quad (36'')$$

また、本発明によるズームレンズは、物体側から光路に沿って順に配置された、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第1移動レンズ群と、像面に対して略位置が固定である開口絞りと、広角端から望遠端に変倍する際に単調に物体側に移動する第2移動レンズ群とを含み、前記第1レンズ群は、像面に対して位置がほぼ固定

されており物体側から光路に沿って順に配置された、物体側に凹面を向けた入射面と光路を折り曲げるための反射面を有する光学素子と、正レンズとを含み、前記第1移動レンズ群は、物体側から光路に沿って順に配置された、両凹レンズと、正レンズとを含み、前記第2移動レンズ群は、物体側から光路に沿って順に配置された、正の単レンズと、正レンズと像側に強い凹面を向けた負レンズの接合レンズとを含んでいる。

上記ズームレンズにおいて、変倍機能を効率的に行なって小型を確保するためには、下記の条件式を満たすと良い。

$$1.4 \leq |f2| / fw \leq 5.0 \quad (37)$$

$$1.4 \leq f3 / fw \leq 5.0 \quad (38)$$

但し、 $f2$ 、 $f3$ 、 fw はそれぞれ第1移動レンズ群、第2移動レンズ群、広角端全系の焦点距離である。

条件(37)、(38)の上限を上回ると、第1移動レンズ群、第2移動レンズ群のパワーが弱くなる。また、下限を下回ると、第1移動レンズ群、第2移動レンズ群の倍率が小さくなる。このような関係で、何れにしても移動量の割に変倍比が小さくなりやすい。

また、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすとより良い。

$$1.7 \leq |f2| / fw \leq 4.5 \quad (37')$$

$$1.7 \leq f3 / fw \leq 4.5 \quad (38')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすと最良である。

$$2.0 \leq |f2| / fw \leq 4.0 \quad (37'')$$

$$2.0 \leq f3 / fw \leq 4.0 \quad (38'')$$

本発明のズームレンズでは、最も物体側にある反射光学素子で、光路を折り曲げている。そのため、奥行き方向への厚みが最小限に抑えられることが特徴である。また、同時に、像面に対して絞り位置が固定されているため、絞りやシャッターアクチュエーター等の部材について、変倍時に移動するためのスペースが不要となる。加えて、最も物体側にあるレンズ群が正の屈折力を有するために開口絞り径がF値の割に小さく、且つシャッター羽根の逃げスペースも小さくてすむ。これにより、折り曲げ後の光学部分系の厚さも抑えられるということも大きな特徴となっている。

また、ある程度の高いズーム比を得ながら絞り位置固定とすることが望ましい。これは、変倍時の移動レンズ群を二つに分けて、絞りの前後に配置することで実現出来る。そして、第1移動レンズ群と第2移動レンズ群の屈折力が異符号であることで、動き量に対して効率的な変倍を実現できる。

また、反射光学素子（前記物体側に凹面を向けた入射面と、光路を折り曲げるための反射面を有する光学素子）を小さく薄くするには、入射瞳位置を出来るだけ入射面から浅くすることが重要になる。そのためには、開口絞りまでの光学部品点数を極力少なくし、各レンズ群共に物体側から光路に沿って発散成分、収斂成分の順で構成すればよい。

本発明では、第1レンズ群と第1移動レンズ群とで、合わせてわずか4部品で光学系を構成している。本発明のような光路折り曲げ光学系では、第1レンズ群と第1移動レンズ群との合成系による像点、つまり第2移動レンズ群以降の合成系に対する物点が被写体側に遠くなりやすくなる。そのために、第2移動レンズ群以降の合成系の倍率が小さくなりがちになる。これは、レンズ群の移動の割に、倍率を稼ぎにくい傾向となる。この傾向を解消するには、第2移動レンズ群のパワーを出来るだけ強く、かつ主点を出来るだけ物体側に位置するようにするのが良い。

そこで本発明では、第2移動レンズ群の内部構成を正レンズ、正レンズ、負レンズとしている。そして、偏心敏感度の大きい負レンズとその直前の正レンズは接合としている。また、第1移動レンズ群も、部品点数を減らしながら負の屈折力を強めるために、負レンズを両凹レンズとしている。

なお、本発明においては、反射光学素子を出来るだけ小さくするようにしている。そのために、第1レンズ群の発散成分、収斂成分のそれぞれのパワーを強くしている。従って、歪曲収差やコマ収差が発生しやすい。コマ収差の補正には、前記第1レンズ群の光学要素の入射面と正レンズのいずれかの収斂面を、共に光軸から離れるほど曲率が弱くなる非球面とするのが良い。なお、歪曲収差の補正については後述する。

また、反射光学素子を小さくするためには、第1移動レンズ群の移動量の方を、第2移動レンズ群に比べて出来るだけ小さくすることが望ましい。本発明では、第1移動レ

レンズ群と第2移動レンズ群は、開口絞りを挟んで隣接している。そこで、下記条件式を満足ようにするとよい。

$$0.5 < D3 / D2 < 1.4 \quad (39)$$

但し、D2は広角端における第1移動レンズ群の最も像側の面頂から開口絞りまでの光軸に沿った距離、D3は開口絞りから第2移動レンズ群の最も物体側の面頂までの光軸に沿った距離である。

条件(39)の上限を上回ると望遠端のF値が暗くなりやすい。また、下限を下回ると反射光学素子としてのプリズムが肥大化しやすい。

なお、下記条件式を満たすとより良い。

$$0.6 < D3 / D2 < 1.3 \quad (39')$$

さらに、下記条件式を満たすと最良である。

$$0.7 < D3 / D2 < 1.2 \quad (39'')$$

さらに、負の屈折力を有する第1移動レンズ群は負レンズに、正の屈折力を有する第2移動レンズ群は正レンズに共に非球面を導入するのが良い。これにより、変倍時の第1移動レンズ群と第2移動レンズ群の動きによる収差変動を、出来るだけ小さくすることができる。出来れば2面ずつに非球面を導入するのが好ましい。

また、フォーカスについては、第2移動レンズ群の像側に、フォーカスレンズ群を配置するとよい。このフォーカスレンズ群は、フォーカス時にも移動可能である。その場合、変倍全域に亘りフォーカスのために移動する領域を、出来るだけ少なくするのが良い。これにより、フォーカスアクチュエーターを著しく小型化できる。従って、下記条件を満足すると良い。

$$0.8 \times 10^2 < M4 \cdot S1 < 6.0 \times 10^2 \quad (40)$$

但し、M4はフォーカスレンズ群があらゆる状態の中で最も物体側に位置するときと最も像側に位置するときの距離差、S1はフォーカスレンズ群が最も物体側に位置するとき合焦されている被写体から光学系入射面までの距離(mm)である。

条件(40)の上限を上回ると、フォーカスのためのアクチュエーターが肥大化する。

なお、下記条件式を満たすとより良い。

$$1. \quad 2 \times 10^2 < M4 \cdot S1 < 5.5 \times 10^2 \quad (40')$$

さらに、下記条件式を満たすと最良である。

$$1. \quad 6 \times 10^2 < M4 \cdot S1 < 5.0 \times 10^2 \quad (40'')$$

このほか、収差補正や主光線射出角を小さくすることを主たる目的として、最も像面に近いレンズ群を、像面に対して位置をほぼ固定して配置しても良い。このレンズ群はフォーカスレンズ群とは別である。そして、このレンズ群には、フィルターを添付したり、赤外カットのコートを施しても良い。

本発明のズームレンズは入射面が発散面である関係上、物体側に凹面を向ける形状になる。しかもそのパワーは強いため、歪曲収差が発生しやすい。しかし、歪曲収差を許容すると、画角の割に入射光線高が低くなる。その結果、プリズムを小さくすることが可能である。

そこで、本発明のズームレンズにおいては、意図的に樽型歪曲収差を野放し的に発生させている。そして、結像光学系を通じて結像された像を、電子撮像素子にて撮像する。このようにして得られた画像データを加工して、形状を変化させる。このように画像データを加工する機能を用いて、ズームレンズで発生した歪曲収差による画像歪みを補正して観察できるようにしている。特に、カメラなど電子撮像装置からは、既に補正されたかたちの画像データが出力されるのが理想的である。

なお、ズームレンズについては、ほぼ無限遠物点合焦時に、結像光学系の歪曲収差に関して下記条件式を満足するとよい。

$$0.75 < y_{07} / (fw \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.96 \quad (41)$$

$$1.0 < fw / y_{10} < 2.1 \quad (42)$$

但し、電子撮像素子の有効撮像面内（撮像可能な面内）で中心から最も遠い点までの距離（最大像高）を y_{10} とすると、 $y_{07} = 0.7 y_{10}$ 、 ω_{07w} は広角端における前記撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

なお、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすとより良い。

$$0.80 < y_{07} / (fw \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.95 \quad (41')$$

$$1.1 < fw / y_{10} < 2.0 \quad (42')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一方を満たすと最良である。

$$0.85 < y_{07} / (fw \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.94 \quad (41'')$$

$$1.2 < fw / y_{10} < 1.9 \quad (42'')$$

以上述べた本発明によるズームレンズを用いるにあたり、以下に示すように第1レンズ群に関して条件(A)、(B)のいずれか1つ以上を満足するとさらに良い。

(A) 光路折り曲げのための光学素子に関して以下の条件式を満たすのが良い。

$$0.3 < d_f / d_p < 0.7 \quad (43)$$

$$-6.0 < R_{11} / y_{10} < -1.2 \quad (44)$$

$$-0.75 \leq fw \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.15 \quad (45)$$

但し、 d_f は第1レンズ群の最も物体側の面と光軸との交点から、最初の反射面と光軸との交点までの距離、 d_p は反射面より物体側に最も近い屈折面（プリズムの場合は入射面）と光軸との交点から、反射面より像側に最も近い屈折面（プリズムの場合は射出面）と光軸との交点までの光軸に沿って測った距離、 fw は広角端における全系の焦点距離、 n_1 は前記プリズムの媒質屈折率（基準波長）、 R_{11} は前記プリズム入射面の光軸上での曲率半径である。

条件(43)の上限を上回ると、入射瞳位置の関係で第1レンズ群が大型化しやすい。また、下限を下回ると、ゴーストが多くなる。条件(44)の下限を下回ると、軸外の入射光線高が高く、プリズムが大型化しやすくなる。また、色収差の補正が十分でなくなる。上限を上回ると、逆に第1レンズ群中の正レンズへの光線高が高くなる。その結果、奥行き方向の寸法が肥大化しやすくなる。また、望遠側にてコマ収差が発生しやすくなる。条件(45)の上限を上回ると、曲率が強すぎることになる。その結果、各軸外収差が悪化しやすく好ましくない。下限を下回ると、入射瞳位置が深くなりすぎる。そのため、前記プリズムが肥大化傾向となる。

また、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすとより良い。

$$0.35 < d_f / d_p < 0.6 \quad (43')$$

$$-5.0 < R_{11} / y_{10} < -1.6 \quad (44')$$

$$-0.70 \leq fw \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.20 \quad (45')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすと最良である。

$$0.4 < d_F / d_P < 0.55 \quad (43'')$$

$$-4.0 < R_{11} / y_{10} < -2.0 \quad (44'')$$

$$-0.65 \leq f_w \cdot (n_1 - 1) / R_{11} \leq -0.25 \quad (45'')$$

なお、反射光学素子としてプリズムを採用するのが、奥行きを薄くする上で最も有利である。プリズムの媒質のd線に対する屈折率は高い方が好ましく、1.65以上が良く、1.75以上ならば理想的である。

(B) 第1移動レンズ群の変倍効率を高めるためには、第1レンズ群全体としては、下記条件式(46)を満たすように出来るだけ強い正のパワーにする必要がある。従って、第1レンズ群の正レンズに関しては、下記条件式(47)を満たすようにするのが良い。つまり、正レンズについては、通過する軸外光線の高さの割に強いパワーを持たせるのが良い。同時に形状も下記条件式(48)を満たすようにすると良い。

$$2.0 \leq f_1 / f_w \leq 10.0 \quad (46)$$

$$1.1 \leq f_{12} / f_w \leq 5.0 \quad (47)$$

$$-1.1 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < 0.4 \quad (48)$$

但し、 f_1 は第1レンズ群全体の焦点距離、 f_{12} は第1レンズ群中の正レンズの焦点距離、 R_{1PF} 、 R_{1PR} はそれぞれ第1レンズ群の正レンズの物体側の面、像側の面の光軸上での曲率半径である。

条件(46)の下限を下回ると、第1移動レンズ群の変倍時における移動量の割に、変倍率が少なくなる。また、上限を上回ると、軸外収差や色収差の補正が困難になる。または、プリズムが肥大化しやすい。条件(47)の上限を上回ると、第1移動レンズ群の変倍率が、移動量の割に低くなる。そのため、光学系が大きくなりやすい。下限を下まわると、コマ収差、非点収差などの軸外収差の補正が困難となりやすい。条件(48)の上限を上回ると、第1レンズ群の主点が像側寄り傾向となる。そのため、第1移動レンズ群の変倍効率が、悪化傾向となる。また、収差的にもコマ収差が発生しやすくなる。下限を下回ると、第1レンズ群中のレンズが強いメニスカス形状となる。そのため、第1移動レンズ群と干渉しやすくなり好ましくない。

また、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすとより良い。

$$2.5 \leq f_1 / f_w \leq 8.0 \quad (46')$$

$$1.3 \leq f_{12} / f_w \leq 4.0 \quad (47')$$

$$-0.9 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < 0.2 \quad (48')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすと最良である。

$$3.0 \leq f_1 / f_w \leq 6.0 \quad (46'')$$

$$1.5 \leq f_{12} / f_w \leq 3.2 \quad (47'')$$

$$-0.7 < (R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR}) < 0.0 \quad (48'')$$

また、第1移動レンズ群については下記条件式を満足するとさらに良い。

$$-1.0 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 1.0 \quad (49)$$

$$-3.0 < (R_{2PF} + R_{2PR}) / (R_{2PF} - R_{2PR}) < 1.0 \quad (50)$$

$$d_{22} / f_w < 0.3 \quad (51)$$

但し、 R_{2NF} 、 R_{2NR} 、 R_{2PF} 、 R_{2PR} はそれぞれ第1移動レンズ群中の負レンズの物体側の面、像側の面、正レンズの物体側の面、像側の面の光軸上での曲率半径、 d_{22} は第1移動レンズ群中の負レンズの像側の面と正レンズの物体側の面の光軸上での距離である。

条件(49)の上限を上回り、(50)の下限を下回り、条件(51)の上限を上回ると、ズームレンズ全系の入射面からの入射瞳位置が深くなりやすい。また、前記プリズムが肥大化する傾向となる。

また、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすとより良い。

$$-0.8 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 0.8 \quad (49')$$

$$-2.0 < (R_{2PF} + R_{2PR}) / (R_{2PF} - R_{2PR}) < 0.5 \quad (50')$$

$$d_{22} / f_w < 0.25 \quad (51')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすと最良である。

$$-0.6 < (R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR}) < 0.6 \quad (49'')$$

$$-1.0 < (R_{2PF} + R_{2PR}) / (R_{2PF} - R_{2PR}) < 0.0 \quad (50'')$$

$$d_{22} / f_w < 0.2 \quad (51'')$$

第2移動レンズ群についても下記条件式を満足するとさらに良い。

$$0.28 < R_{B3} / R_{B1} < 1.0 \quad (52)$$

$$-0.7 < f_w / R_{B2} < 0.7 \quad (53)$$

$$20 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad (54)$$

但し、 R_{B1} 、 R_{B3} はそれぞれ第2移動レンズ群の接合レンズ成分の最も物体側の面、最も像側の面の光軸上での曲率半径、 R_{B2} は第2移動レンズ群の接合レンズ成分の接合面の光軸上での曲率半径、 ν_{BP} 、 ν_{BN} はそれぞれ第2移動レンズ群の接合レンズ成分の正レンズ、負レンズの媒質アッベ数である。

条件(52)の上限を上回ると、全系収差の球面収差、コマ収差、非点収差の補正には有利であるが、接合による偏心敏感度の緩和の効果が少ない。下限を下回ると、全系収差の球面収差、コマ収差、非点収差の補正が困難になりやすい。条件(53)の下限を下回ると、軸上色収差、倍率色収差の補正には有利だが、球面収差の色収差が発生しやすい。特に、基準波長における球面収差が良好に補正できても、短波長の球面収差はオーバーコレクト状態となる。これは、画像における色のにじみの原因となるので好ましくない。上限を上回ると、軸上色収差、倍率色収差が、補正不足や短波長球面収差のアンダーコレクト状態となりやすい。条件(54)の下限を下回ると、軸上色収差が補正不足になりやすい。一方、上限は、これを上回る媒質の組み合わせが自然界には存在しないことになる。

また、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすとより良い。

$$0.30 < R_{B3} / R_{B1} < 0.8 \quad (52')$$

$$-0.5 < f_w / R_{B2} < 0.4 \quad (53')$$

$$25 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad (54')$$

さらに、少なくとも下記条件式の何れか一つを満たすと最良である。

$$0.32 < R_{B3} / R_{B1} < 0.6 \quad (52'')$$

$$-0.3 < f_w / R_{B2} < 0.1 \quad (53'')$$

$$30 < \nu_{BP} - \nu_{BN} \quad (54'')$$

以下、本発明の各実施例について図面を用いて説明する。

第1実施例

図4は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第1実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時

における状態を示している。図 5 A, 5 B 及び 5 C は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態を夫々示している。図 6 A, 6 B, 6 C, 6 D 及び 6 E は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図であり、広角端, 中間, 望遠端, 広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。図 7 A ~ 7 D, 7 E ~ 7 H 及び 7 I ~ 7 L、図 8 A ~ 8 H は第 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差, 非点収差及び歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、図 7 A ~ 7 D は広角端, 図 7 E ~ 7 H は中間及び図 7 I ~ 7 L は望遠端、図 8 A ~ 8 D は広角端と中間との間及び図 8 E ~ 8 H は中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

第 1 実施例の電子撮像装置は、図 4 に示すように、物体側から順に、ズームレンズと、電子撮像素子である CCD を有している。図 4 中、I は CCD の撮像面である。ズームレンズと撮像面 I との間には、平面平板状の光学的ローパスフィルター L F と CCD カバーガラス C G が設けられている。また、各実施例において近赤外シャープカットコートについては、例えば、光学的ローパスフィルター L F に直接コートを施しても良く、また、別に赤外カット吸収フィルターを配置してもよく、あるいは、透明平板の入射面に近赤外シャープカットコートしたものを用いてもよい。

ズームレンズは、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、第 2 レンズ群 G 2 と、開口絞り S と、第 3 レンズ群 G 3 と、第 4 レンズ群 G 4 とを有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、光路を折り曲げるための反射光学素子 R 1 と、1 枚の両凸正レンズ L 1 とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

反射光学素子 R 1 は、入射面 R 1₁ と、光路を折り曲げるための反射面 R 1₂ と、射出面 R 1₃ とを有するプリズムとして構成されている。入射面 R 1₁ は、物体側に凹面であり、光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面に形成されている。

なお、本発明の各実施例における有効撮像領域の縦横比は 3 : 4 であり、折り曲げ方向は横方向である。

第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凹負レンズ L 2₁ と、両凸正レンズ L 2₂ とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第 3 レンズ群 G 3 は、両凸正レンズ L 3₁ と、両凸正レンズ L 3₂ と両凹負レンズ L 3₃ との接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第4レンズ群G4は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4₂とで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1は位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは位置が固定され、第3レンズ群G3は物体側へ単調に移動し、第4レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時に際しては、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、上述した第1レンズ群G1中の反射光学素子R1の入射面R1₁のほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両面、第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両面に設けられている。

次に、第1実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。なお、第1実施例の数値データにおいて、 r_1 、 r_2 、...は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 、...は各レンズの肉厚または空気間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} 、...は各レンズのd線での屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} 、...は各レンズのアッペ数、Fno. はFナンバー、 f は全系焦点距離、 $D0$ は物体から第1面までの距離を表している。

なお、非球面形状は、光軸方向を z 、光軸に直交する方向を y にとり、円錐係数を K 、非球面係数を A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} としたとき、次の式で表される。

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1+K)(y/r)^2\}^{1/2}] + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10}$$

なお、これらの記号は後述の実施例の数値データにおいても共通である。

数値データ1

$r_1 = -7.3888$ (非球面)

$d_1 = 7.7000$

$n_{d1} = 1.84666$

$\nu_{d1} = 23.78$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 9.2760$ (非球面)

$d_3 = 2.5000$

$n_{d3} = 1.81474$

$\nu_{d3} = 37.03$

$$r_4 = -27.0079$$

$$d_4 = D_4$$

$$r_5 = -7.5903 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000$$

$$n_{d5} = 1.74320$$

$$\nu_{d5} = 49.34$$

$$r_6 = 8.4809 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 15.7026$$

$$d_7 = 1.6000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = -40.5377$$

$$d_8 = D_8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D_9$$

$$r_{10} = 8.9882 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 4.0001$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -9.7388 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 11.3104$$

$$d_{12} = 2.0743$$

$$n_{d12} = 1.56384$$

$$\nu_{d12} = 60.67$$

$$r_{13} = -16.6974$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 5.0192$$

$$d_{14} = D_{14}$$

$$r_{15} = 9.3843$$

$$d_{15} = 1.8000$$

$$n_{d15} = 1.48749$$

$$\nu_{d15} = 70.23$$

$$r_{16} = 187.5375$$

$$d_{16} = D_{16}$$

$$r_{17} = 9.3972$$

$$d_{17} = 1.6000$$

$$n_{d17} = 1.68893$$

$$\nu_{d17} = 31.07$$

$$r_{18}=24.2276$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=1.4000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\downarrow_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=0.6000$$

$$r_{21}=\infty$$

$$d_{21}=0.6000$$

$$n_{d21}=1.51633$$

$$\downarrow_{d21}=64.14$$

$$r_{22}=\infty$$

$$d_{22}=D \ 2 \ 2$$

$$r_{23}=\infty \text{ (撮像面)}$$

$$d_{23}=0$$

$$* \text{ 第19面の肉厚内訳} = 0.3 + 0.21 \times 2 + 0.68 = 1.4$$

水晶フィルター3枚重ね+IR吸収フィルター

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.3911 \times 10^{-3} \quad A_6 = -1.8577 \times 10^{-5} \quad A_8 = 2.8434 \times 10^{-7}$$

$$A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_4 = -6.4429 \times 10^{-4} \quad A_6 = 3.6455 \times 10^{-6} \quad A_8 = -2.1185 \times 10^{-8}$$

$$A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.3672 \times 10^{-3} \quad A_6 = 8.9594 \times 10^{-6} \quad A_8 = -1.6235 \times 10^{-6}$$

$$A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_4 = 3.6245 \times 10^{-4} \quad A_6 = 6.7383 \times 10^{-5} \quad A_8 = -5.6459 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_4 = -7.4708 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.5948 \times 10^{-5} \quad A_8 = -1.5411 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_4 = -1.5349 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.8657 \times 10^{-5} \quad A_8 = -6.1411 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | 広角-中間 | 中間-望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.02399 | 6.47589 | 10.83793 | 5.06321 | 8.33373 |
| Fno. | 2.8489 | 3.5064 | 4.3811 | 3.1431 | 3.8306 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 0.99933 | 3.84470 | 6.72373 | 2.42177 | 5.47994 |
| D8 | 7.02438 | 4.18365 | 1.29993 | 5.59999 | 2.54796 |
| D9 | 6.65081 | 4.06962 | 1.29970 | 5.42883 | 2.97137 |
| D14 | 1.22479 | 3.79651 | 6.57608 | 2.45769 | 4.88282 |
| D16 | 1.19883 | 1.20089 | 1.19879 | 1.19859 | 1.20212 |
| D22 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 |

第2実施例

図9は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第2実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図10A、10B及び10Cは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、(a)広角端、中間及び望遠端での

状態を夫々示している。図11A, 11B, 11C, 11D及び11Eは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図であり、広角端, 中間, 望遠端, 広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。図12A～12D, 12E～12H及び12I～12L、図13A～13D及び13E～13Hは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端, 中間及び望遠端、広角端と中間との間、及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

第2実施例の電子撮像装置は、図9に示すように、物体側から順に、ズームレンズと、電子撮像素子であるCCDを有している。図9中、IはCCDの撮像面である。ズームレンズと撮像面Iとの間には、平面平板状の光学的ローパスフィルターLFとCCDカバーガラスCGが設けられている。

ズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、光路を折り曲げるための反射光学素子R1と、1枚の両凸正レンズL1とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

反射光学素子R1は、入射面R1₁と、光路を折り曲げるための反射面R1₂と、射出面R1₃とを有するプリズムとして構成されている。入射面R1₁は、物体側に凹面であり、光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面に形成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹負レンズL2₁と、両凸正レンズL2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃との接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第4レンズ群G4は、両凸正レンズL4₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4₂とで構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1は位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは位置が固定され、第3レンズ群G3は物体側へ単調に移動し、第4レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時に際しては、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、上述した第1レンズ群G1中の反射光学素子R1の入射面R1₁のほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両面、第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両面に設けられている。

次に、第2実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ2

$r_1 = -7.3483$ (非球面)

$d_1 = 8.1290$ $n_{d1} = 1.84666$ $\nu_{d1} = 23.78$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 9.0396$ (非球面)

$d_3 = 2.5000$ $n_{d3} = 1.81474$ $\nu_{d3} = 37.03$

$r_4 = -32.8233$

$d_4 = D4$

$r_5 = -8.1045$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$ $n_{d5} = 1.74320$ $\nu_{d5} = 49.34$

$r_6 = 8.4127$ (非球面)

$d_6 = 0.6000$

$r_7 = 12.7546$

$d_7 = 1.6000$ $n_{d7} = 1.84666$ $\nu_{d7} = 23.78$

$r_8 = -106.7028$

$d_8 = D8$

$r_9 = \infty$ (絞り)

$d_9 = D9$

$r_{10} = 8.9754$ (非球面)

$d_{10} = 4.0024$ $n_{d10} = 1.69350$ $\nu_{d10} = 53.21$

$r_{11} = -15.1557$ (非球面)

$$\begin{aligned}
d_{11} &= 0.1500 \\
r_{12} &= 7.5875 \\
d_{12} &= 2.1316 & n_{d12} &= 1.56384 & \checkmark_{d12} &= 60.67 \\
r_{13} &= -20.3311 \\
d_{13} &= 0.7000 & n_{d13} &= 1.84666 & \checkmark_{d13} &= 23.78 \\
r_{14} &= 4.9874 \\
d_{14} &= D \ 1 \ 4 \\
r_{15} &= 11.2264 \\
d_{15} &= 1.8000 & n_{d15} &= 1.48749 & \checkmark_{d15} &= 70.23 \\
r_{16} &= -65.9576 \\
d_{16} &= D \ 1 \ 6 \\
r_{17} &= 9.5328 \\
d_{17} &= 1.6000 & n_{d17} &= 1.68893 & \checkmark_{d17} &= 31.07 \\
r_{18} &= 21.6839 \\
d_{18} &= 0.7000 \\
r_{19} &= \infty \\
d_{19} &= 1.4000 & n_{d19} &= 1.51633 & \checkmark_{d19} &= 64.14 \\
r_{20} &= \infty \\
d_{20} &= 0.6000 \\
r_{21} &= \infty \\
d_{21} &= 0.6000 & n_{d21} &= 1.51633 & \checkmark_{d21} &= 64.14 \\
r_{22} &= \infty \\
d_{22} &= D \ 2 \ 2 \\
r_{23} &= \infty \text{ (撮像面)} \\
d_{23} &= 0
\end{aligned}$$

* 第19面の肉厚内訳 = $0.036 + 0.025 \times 2 + 1.314 = 1.4$
LNフィルター3枚重ね + IR吸収フィルター

又は、

$$* \text{ 第19面の肉厚内訳} = 0.24 + 0.17 \times 2 + 0.82 = 1.4$$

水晶フィルター 3枚重ね + IR吸収フィルター

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.3617 \times 10^{-3} \quad A_6=-1.7282 \times 10^{-5}$$

$$A_8=2.6915 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-6.1114 \times 10^{-4} \quad A_6=3.0939 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-2.4794 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.6829 \times 10^{-3} \quad A_6=-2.0954 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-1.3539 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=9.0350 \times 10^{-4} \quad A_6=2.7458 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-2.1856 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-3.2035 \times 10^{-4} \quad A_6=-3.3460 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-2.5697 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-2.0533 \times 10^{-5} \quad A_6=-5.3567 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-1.4764 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D 0（物体から第1面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | 広角－中間 | 中間－望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.03442 | 6.48703 | 10.84462 | 5.07233 | 8.35332 |
| F n o. | 2.8000 | 3.5064 | 4.3811 | 3.1431 | 3.8306 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0.99719 | 4.01082 | 6.67024 | 2.64290 | 5.32446 |
| D 8 | 6.97252 | 3.93783 | 1.30078 | 5.32414 | 2.62999 |
| D 9 | 6.91832 | 4.46197 | 1.30290 | 5.90161 | 2.90629 |
| D 1 4 | 1.21486 | 3.69164 | 6.82927 | 2.23330 | 5.23953 |
| D 1 6 | 1.19324 | 1.19324 | 1.19324 | 1.19324 | 1.19324 |
| D 2 2 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 |

第3実施例

図14は本発明による電子撮像装置に用いるズームレンズの第3実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図15A、15B及び15Cは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。図16A、16B、16C、16D及び16Eは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における歪曲収差を示す図であり、広角端、中間、望遠端、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。図17A～17D、17E～17H及び17I～17L、図18A～18D及び18E～18Hは第3実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端、広角端と中間との間及び中間と望遠端との間での状態を夫々示している。

第3実施例の電子撮像装置は、図14に示すように、物体側から順に、ズームレンズと、電子撮像素子であるCCDを有している。図14中、IはCCDの撮像面である。ズームレンズの最終レンズ面と撮像面Iの間には、平面平板状の光学的ローパスフィルターLF'と、CCDカバーガラスCGが設けられている。

ズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G 1と、第2レンズ群G 2と、開口絞りSと、第3レンズ群G 3と、第4レンズ群G 4とを有している。

第1レンズ群G 1は、物体側から順に、光路を折り曲げるための反射光学素子R 1と、1枚の両凸正レンズL 1とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

反射光学素子R 1は、入射面R 1₁と、光路を折り曲げるための反射面R 1₂と、射出面R 1₃とを有するプリズムとして構成されている。入射面R 1₁は、物体側に凹面であり、光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面に形成されている。

第2レンズ群G 2は、物体側から順に、両凹負レンズL 2₁と、両凸正レンズL 2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G 3は、両凸正レンズL 3₁と、両凸正レンズL 3₂と両凹負レンズL 3₃との接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第4レンズ群G 4は、両凸正レンズL 4₁と物体側の面が凸面に形成され像側の面が平面に形成された平凸正レンズL 4₂とで構成されている。

光学的ローパスフィルターLF'は、肉厚が極めて薄く形成されており、平凸レンズL 4₂の平面に接合されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G 1は位置が固定され、第2レンズ群G 2は像側へ移動し、開口絞りSは位置が固定され、第3レンズ群G 3は物体側へ単調に移動し、第4レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時に際しては、第4レンズ群G 4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、上述した第1レンズ群G 1中の反射光学素子R 1の入射面R 1₁のほかに、第1レンズ群G 1中の両凸正レンズL 1の物体側の面、第2レンズ群G 2中の両凹負レンズL 2₁の両面、第3レンズ群G 3中の両凸正レンズL 3₁の物体側の面、両凸正レンズL 3₂と両凹負レンズL 3₃との接合面に設けられている。

次に、第3実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 3

$r_1 = -9.3150$ (非球面)

$d_1=8.8552$ $n_{d1}=1.84666$ $\gamma_{d1}=23.78$
 $r_2=\infty$
 $d_2=0.1500$
 $r_3=13.0658$ (非球面)
 $d_3=2.5000$ $n_{d3}=1.83400$ $\gamma_{d3}=37.16$
 $r_4=-27.9677$
 $d_4=D\ 4$
 $r_5=-7.2074$ (非球面)
 $d_5=0.8000$ $n_{d5}=1.74320$ $\gamma_{d5}=49.34$
 $r_6=10.7800$ (非球面)
 $d_6=0.3000$
 $r_7=20.7085$
 $d_7=1.4000$ $n_{d7}=1.84666$ $\gamma_{d7}=23.78$
 $r_8=-23.7899$
 $d_8=D\ 8$
 $r_9=\infty$ (絞り)
 $d_9=D\ 9$
 $r_{10}=13.2200$ (非球面)
 $d_{10}=3.9944$ $n_{d10}=1.69350$ $\gamma_{d10}=53.21$
 $r_{11}=-7.4732$
 $d_{11}=0.1500$
 $r_{12}=10.1483$ (非球面)
 $d_{12}=2.3583$ $n_{d12}=1.58913$ $\gamma_{d12}=61.14$
 $r_{13}=-153.7008$
 $d_{13}=0.7000$ $n_{d13}=1.84666$ $\gamma_{d13}=23.78$
 $r_{14}=4.5673$
 $d_{14}=D\ 1\ 4$
 $r_{15}=9.2793$

$d_{15}=2.0000$ $n_{d15}=1.48749$ $\nu_{d15}=70.23$
 $r_{16}=-19.5419$
 $d_{16}=D\ 1\ 6$
 $r_{17}=88.5519$
 $d_{17}=1.1000$ $n_{d17}=1.68893$ $\nu_{d17}=31.07$
 $r_{18}=\infty$
 $d_{18}=0.1000$ $n_{d18}=1.51633$ $\nu_{d18}=64.14$
 $r_{19}=\infty$
 $d_{19}=0.6000$
 $r_{20}=\infty$
 $d_{20}=0.5000$ $n_{d20}=1.51633$ $\nu_{d20}=64.14$
 $r_{21}=\infty$
 $d_{21}=D\ 2\ 1$
 $r_{22}=\infty$ (撮像面)
 $d_{22}=0$

* 第18面の肉厚内訳 = $0.022+0.056\times 2 + 0 = 0.1$

樹脂型複屈折フィルター3枚重ね+IR反射コート

非球面係数

第1面

$K=0$

$A_2=0$ $A_4=7.5265\times 10^{-4}$ $A_6=-6.9661\times 10^{-6}$

$A_8=5.7692\times 10^{-8}$ $A_{10}=0$

第3面

$K=0$

$A_2=0$ $A_4=-3.4162\times 10^{-4}$ $A_6=9.0980\times 10^{-7}$

$A_8=1.7020\times 10^{-8}$ $A_{10}=0$

第5面

$K=0$

$$A_2=0 \quad A_4=1.3095 \times 10^{-3} \quad A_6=7.7957 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-2.9497 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=4.2459 \times 10^{-4} \quad A_6=3.3430 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-8.8443 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-1.3437 \times 10^{-3} \quad A_6=-2.0825 \times 10^{-5}$$

$$A_8=4.7918 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第12面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=5.1950 \times 10^{-4} \quad A_6=2.8718 \times 10^{-5}$$

$$A_8=8.6755 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 | 広角-中間 | 中間-望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.03080 | 6.44337 | 10.75208 | 5.04360 | 8.31583 |
| F n o. | 2.8600 | 3.5064 | 4.3811 | 3.1431 | 3.8306 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0.97877 | 4.88617 | 7.54335 | 3.03191 | 6.66777 |
| D 8 | 8.08267 | 4.13960 | 1.54359 | 6.02102 | 2.38741 |
| D 9 | 6.98154 | 4.99531 | 1.58245 | 6.13474 | 3.71309 |
| D 1 4 | 2.33475 | 4.35650 | 7.70831 | 3.19006 | 5.60946 |
| D 1 6 | 1.97979 | 1.97979 | 1.97979 | 1.97979 | 1.97979 |
| D 2 1 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 | 1.00000 |

特に最終レンズ自身もしくは最終レンズを含むレンズ群あるいは最終レンズ群直前のレンズ群をフォーカスレンズ群として使用する場合、フォーカスレンズ群の移動スペースはフォーカス群の理論的移動量のほかにフォーカス位置検出のための余裕移動スペースや誤差積算によるフォーカス群位置のズレなどを余裕量として見込まねばならない。そして、レンズ群が絶対的に小型化していくと、上記理論的移動量に対する余裕量の割合が大きくなっていく。このため、撮像面直前に配置すべきフィルター類の厚みが障害となりかねない。

そこで、第3実施例のように、撮像面直前に配置すべきフィルターを上記条件式(14)、(14')、(14'')のいずれかを少なくとも満足する素材を使用した極めて薄い光学的ローパスフィルターとするとともに、その極めて薄い光学的ローパスフィルターの強度上の弱さを保護するために、最終レンズを平凸レンズ或いは平凹レンズとしてその平面にその極めて薄い光学的ローパスフィルターを接合するとよい。

なお、フィルター類は、光学系全系の像側に配置するのがよいため、前記平凸レンズ或いは平凹レンズはその像側の面を平面とするのがよい。赤外カットフィルターはコーティングとし、図59Aに示すように、前記平凸レンズ或いは平凹レンズに接合された光学的ローパスフィルターの像側面に赤外カットコーティングをするか、図59Bに示すように、前記平凸レンズ或いは平凹レンズの平面側に予め赤外カットコーティングを施した上に光学的ローパスフィルターと接合するか、図59Cに示すように、最終レンズのR面側に赤外カットコーティングを施すとよい。なお、図59Cの場合はさらに次の条件式を満足するとよい。

$$-0.2 < f_w/R_{RX} < 0.2$$

但し、 R_{RX} は最終レンズ（平凸レンズ或いは平凹レンズ）のR面側の光軸上での曲率半径、 f_w は広角端におけるズーム光学系全系の焦点距離である。

この条件式を満足すると、赤外カットコートによるゴーストやフレアーの発生を抑えることができる。

次に、上記各実施例における条件式のパラメータ等の値を次の表1に示す。

表1

| | 第 1 実施例 | 第 2 実施例 | 第 3 実施例 |
|---|--------------|--------------|--------------|
| レンズデータ | 数値データ 1 | 数値データ 2 | 数値データ 3 |
| y_{10} (最大像高) | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| $y_{10} \times 0.6$ 対応の半画角 | 21.7° | 21.7° | 21.7° |
| 広角端半画角 (ω_w) | 33.6° | 33.6° | 33.5° |
| 中間半画角 | 21.5° | 21.6° | 21.4° |
| 望遠端半画角 | 12.8° | 12.9° | 13.0° |
| $y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w})$ | 0.91266 | 0.91064 | 0.91400 |
| $\log \gamma_B / \log \gamma$ | 0.58262 | 0.60670 | 0.68307 |
| R_{B3} / R_{B1} | 0.44377 | 0.65732 | 0.45006 |
| f_w / R_{B2} | -0.24100 | -0.19844 | -0.02622 |
| $\nu_{BP} - \nu_{BN}$ | 36.89 | 36.89 | 37.36 |
| $(R_{11} + R_{12}) / (R_{11} - R_{12})$ | -1.00000 | -1.00000 | -1.00000 |
| d_F / d_P | 0.48052 | 0.47976 | 0.47994 |
| R_{11} / y_{10} | -2.95552 | -2.93932 | -3.72600 |
| $f_w \cdot (n_1 - 1) / R_{11}$ | -0.46110 | -0.46484 | -0.36637 |
| f_{11} / f_w | 4.06562 | 4.18236 | 5.53922 |
| f_{12} / f_w | 2.17324 | 2.21566 | 2.72457 |
| $(R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR})$ | -0.48870 | -0.56813 | -0.36316 |
| $(R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR})$ | -0.05542 | -0.01866 | -0.19862 |
| a (μm) | 2.5 | 2.0 | 1.5 |
| F_w / a | 1.13956 | 1.40000 | 1.90667 |
| $n_e \cdot n_o / n_e^2 - n_o^2 $ | 85.005 | 12.899 | 10.577 |
| 光学的ローパスフィルター素材 | 水晶 | リチウムイオバート | 樹脂フィルム |
| 水平ナイキストフィルター厚 | 0.42503 | 0.05160 | 0.03173 |
| 上記水晶に換算した場合 | 0.42503 | 0.34002 | 0.25502 |
| 実際のフィルター厚 (レンズデータ) | 0.3 | 0.036 | 0.022 |
| t_{LPF} (水晶換算値) | 0.3 | 0.24 | 0.18 |
| τ_{440} / τ_{520} (τ_{max} 時) | 0.951 | 0.951 | 0.951 |
| τ_{600} / τ_{520} (τ_{max} 時) | 0.994 | 0.994 | 0.994 |
| τ_{440} / τ_{520} (τ_{min} 時) | 0.917 | 0.917 | 0.917 |
| τ_{600} / τ_{520} (τ_{min} 時) | 1.028 | 1.028 | 1.028 |
| τ_{600} / τ_{550} | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| τ_{700} / τ_{550} | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| τ_{400} / τ_{550} | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| τ_{440} / τ_{550} | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
| f_w / R_{Rx} | - | - | 0.18606 |

レンズデータにおける光学的ローパスフィルターは複数枚の構成であり、さらに赤外カットコートなどの厚みも含んでいる。その最大厚みの値でなく表中の値を用いている。

第4実施例

図19は本発明によるズームレンズの第4実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図20A、20B及び20Cは第1実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図21A～21D、21E～21H及び21I～21Lは第1実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。図22A～22D、22E～22H及び22I～22Lは第1実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図19中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルター、IRCFは赤外カットフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、赤外カットフィルターIRCFと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第1実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、正メニスカスレンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と正メニスカスレンズL2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G 3は、物体側から順に、両凸正レンズL 3₁と、正メニスカスレンズL 3₂と負メニスカスレンズL 3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G 4は、正メニスカスレンズL 4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G 1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G 2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G 3は物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G 4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G 1中のプリズムPの光線入射面I Fのほかに、第1レンズ群G 1中の正メニスカスレンズL 1の物体側の面、第2レンズ群G 2中の両凹レンズL 2₁の両側面、及び第3レンズ群G 3中の両凸正レンズL 3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第4実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 4

$r_1 = -11.6796$ (非球面)

$d_1 = 9.0200$

$n_{d1} = 1.58423$

$\nu_{d1} = 30.49$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1650$

$r_3 = 9.8371$ (非球面)

$d_3 = 2.3000$

$n_{d3} = 1.69350$

$\nu_{d4} = 53.21$

$r_4 = 529.3773$

$d_4 = D4$

$r_5 = -12.8197$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.80610$

$\nu_{d3} = 40.92$

$r_6 = 5.7072$ (非球面)

$d_6 = 0.5000$

$r_7 = 8.1113$

$d_7 = 2.1000$

$n_{d7} = 1.84666$

$\nu_{d7} = 23.78$

$r_8 = 177.2938$

$d_8 = D8$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D_9$$

$$r_{10} = 10.6507 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 4.6389$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -9.2140 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1650$$

$$r_{12} = 9.0658$$

$$d_{12} = 2.0900$$

$$n_{d12} = 1.58913$$

$$\nu_{d12} = 61.14$$

$$r_{13} = 5717.2980$$

$$d_{13} = 0.6600$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 4.9509$$

$$d_{14} = D14$$

$$r_{15} = 7.7937$$

$$d_{15} = 2.5000$$

$$n_{d15} = 1.51742$$

$$\nu_{d15} = 52.43$$

$$r_{16} = 22.2524$$

$$d_{16} = D16$$

$$r_{17} = \infty$$

$$d_{17} = 1.3200$$

$$n_{d17} = 1.51633$$

$$\nu_{d17} = 64.14$$

$$r_{18} = \infty$$

$$d_{18} = 1.4795$$

$$n_{d18} = 1.54771$$

$$\nu_{d18} = 62.84$$

$$r_{19} = \infty$$

$$d_{19} = 0.3300$$

$$r_{20} = \infty$$

$$d_{20} = 0.8250$$

$$n_{d20} = 1.51633$$

$$\nu_{d20} = 64.14$$

$$r_{21} = \infty$$

$$d_{21} = D21$$

$$r_{21} = \infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 5.8448 \times 10^{-4} \quad A_6 = -4.7903 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 3.0447 \times 10^{-8}$$

第3面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -3.1814 \times 10^{-4} \quad A_6 = -2.2382 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = 6.3527 \times 10^{-8}$$

第5面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -4.1561 \times 10^{-4} \quad A_6 = 5.6431 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -2.4336 \times 10^{-7}$$

第6面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.1787 \times 10^{-3} \quad A_6 = 8.4597 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -5.4129 \times 10^{-6}$$

第10面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -6.3435 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.6391 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -7.1371 \times 10^{-7}$$

第11面

K=0

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 1.9014 \times 10^{-5} \quad A_6 = -1.5643 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -2.0218 \times 10^{-7}$$

ズームデータ

D.0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|---------|---------|----------|
| f (mm) | 5.66108 | 8.59978 | 13.05912 |
| Fno. | 2.8378 | 3.5255 | 4.3575 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 1. 39923 | 3. 84253 | 6. 19793 |
| D 8 | 6. 19840 | 3. 75296 | 1. 39972 |
| D 9 | 6. 11340 | 3. 74403 | 1. 39951 |
| D 1 4 | 2. 40017 | 5. 01149 | 6. 43661 |
| D 1 6 | 0. 82209 | 0. 57868 | 1. 49956 |
| D 2 1 | 1. 19969 | 1. 19992 | 1. 19940 |

D 0（物体から第1面までの距離）が近距離（20cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 195. 03546 | 195. 03546 | 195. 03546 |
| D 4 | 1. 39923 | 3. 84253 | 6. 19793 |
| D 8 | 6. 19840 | 3. 75296 | 1. 39972 |
| D 9 | 6. 11340 | 3. 74403 | 1. 39951 |
| D 1 4 | 2. 11869 | 4. 36476 | 5. 12699 |
| D 1 6 | 1. 10357 | 1. 22541 | 2. 80919 |
| D 2 1 | 1. 19969 | 1. 19992 | 1. 19940 |

第5実施例

図23は本発明にズームレンズの第5実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図24A、24B及び24Cは第2実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。

図23中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルター、IRCFは赤外カットフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、赤外カットフィルターIRCFと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第5実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と両凸正レンズL2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、正メニスカスレンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G3は物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹レンズL2₁の両側面、及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第5実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ5

$r_1 = -11.7854$ (非球面)

$d_1 = 10.5000$

$n_{d1} = 1.58423$

$\nu_{d1} = 30.49$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1650$

$$r_3 = 7.8008 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 3.0000$$

$$n_{d3} = 1.56907$$

$$\nu_{d3} = 71.30$$

$$r_4 = -49.1420$$

$$d_4 = D4$$

$$r_5 = -9.3686 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000$$

$$n_{d5} = 1.80610$$

$$\nu_{d5} = 40.92$$

$$r_6 = 3.8996 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.5000$$

$$r_7 = 6.3672$$

$$d_7 = 2.1000$$

$$n_{d7} = 1.80518$$

$$\nu_{d7} = 25.42$$

$$r_8 = -47.8945$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = 6.1780$$

$$r_{10} = 10.2138 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 6.2294$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -10.9309 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1650$$

$$r_{12} = 8.6046$$

$$d_{12} = 2.0900$$

$$n_{d12} = 1.58913$$

$$\nu_{d12} = 61.14$$

$$r_{13} = -99.9521$$

$$d_{13} = 0.6600$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 5.1954$$

$$d_{14} = D14$$

$$r_{15} = 7.1426$$

$$d_{15} = 2.0000$$

$$n_{d15} = 1.51633$$

$$\nu_{d15} = 64.14$$

$$r_{16} = 29.6189$$

$$d_{16} = D16$$

$$r_{17}=\infty$$

$$d_{17}=1.3200$$

$$n_{d17}=1.51633$$

$$\nu_{d16}=64.14$$

$$r_{18}=\infty$$

$$d_{18}=1.4795$$

$$n_{d18}=1.54771$$

$$\nu_{d18}=62.84$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.3300$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=0.8250$$

$$n_{d20}=1.51633$$

$$\nu_{d20}=64.14$$

$$r_{21}=\infty$$

$$d_{21}=D21$$

$$r_{22}=\infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=5.1910 \times 10^{-4} \quad A_6=-3.7399 \times 10^{-6}$$

$$A_8=2.0145 \times 10^{-8}$$

$$A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=-4.4104 \times 10^{-4} \quad A_6=-3.3553 \times 10^{-6}$$

$$A_8=5.4885 \times 10^{-9}$$

$$A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=3.4042 \times 10^{-5} \quad A_6=6.7454 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-3.4996 \times 10^{-6}$$

$$A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=-2.8172 \times 10^{-3} \quad A_6=1.3308 \times 10^{-4}$$

$$A_8=-1.9143 \times 10^{-5}$$

$$A_{10}=0$$

第 1 0 面

K=0

$$A_2=0 \quad A_4=-2.3186 \times 10^{-4} \quad A_6=-2.1538 \times 10^{-5}$$

$$A_8=7.9488 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第 1 1 面

K=0

$$A_2=0 \quad A_4=2.6973 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.5248 \times 10^{-5}$$

$$A_8=3.1261 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 5.05307 | 8.56998 | 14.55901 |
| F n o. | 2.8571 | 3.7364 | 4.3824 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 1.39683 | 3.62796 | 6.52030 |
| D 8 | 6.52260 | 4.28823 | 1.39914 |
| D 9 | 6.17797 | 3.16502 | 1.39955 |
| D 1 4 | 1.99996 | 5.00758 | 6.78212 |
| D 1 6 | 1.49982 | 1.50070 | 1.49610 |
| D 2 1 | 1.20004 | 1.20279 | 1.19989 |

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が近距離 (2 0 c m) のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| D 0 | 195.03546 | 195.03546 | 195.03546 |
| D 4 | 1.39683 | 3.62796 | 6.52030 |
| D 8 | 6.52260 | 4.28823 | 1.39914 |
| D 9 | 6.17797 | 3.16502 | 1.39955 |
| D 1 4 | 1.80885 | 4.47534 | 5.34741 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 1 6 | 1. 69093 | 2. 03293 | 2. 93082 |
| D 2 1 | 1. 20004 | 1. 20279 | 1. 19989 |

第6実施例

図25は本発明にズームレンズの第6実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図26A、26B及び26Cは第6実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図27A～27D、27E～27H及び27I～27Lは第6実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。図28A～28D、28E～28H及び28I～28Lは第6実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図25中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第6実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、後側副群は、両凸正レンズL₁で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹負レンズL₂と正メニスカスレンズL₂で構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に、両凸正レンズL3₁と、正メニスカスレンズL3₂と負メニスカスレンズL3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、両凸正レンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1と開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G3は物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1₁の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面、及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第6実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 6

$r_1 = -6.4061$ (非球面)

$d_1 = 7.7000$

$n_{d1} = 1.68893$

$\nu_{d1} = 31.07$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 6.8230$ (非球面)

$d_3 = 2.5000$

$n_{d3} = 1.69350$

$\nu_{d3} = 53.21$

$r_4 = -75.6278$

$d_4 = D_4$

$r_5 = -12.3367$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.74320$

$\nu_{d5} = 49.34$

$r_6 = 6.2521$ (非球面)

$d_6 = 0.6000$

$r_7 = 8.9494$

$d_7 = 1.5000$

$n_{d7} = 1.84666$

$\nu_{d7} = 23.78$

$r_8 = 48.0820$

| | | |
|---------------------------|---------------------|---------------------|
| $d_8 = D\ 8$ | | |
| $r_9 = \infty$ (絞り) | | |
| $d_9 = D\ 9$ | | |
| $r_{10} = 5.8322$ (非球面) | | |
| $d_{10} = 2.2000$ | $n_{d10} = 1.69350$ | $\nu_{d10} = 53.21$ |
| $r_{11} = -30.5807$ (非球面) | | |
| $d_{11} = 0.1500$ | | |
| $r_{12} = 6.9491$ | | |
| $d_{12} = 1.9000$ | $n_{d12} = 1.58913$ | $\nu_{d12} = 61.14$ |
| $r_{13} = 35.0000$ | | |
| $d_{13} = 0.6000$ | $n_{d13} = 1.84666$ | $\nu_{d13} = 23.78$ |
| $r_{14} = 3.3853$ | | |
| $d_{14} = D\ 1\ 4$ | | |
| $r_{15} = 7.5994$ | | |
| $d_{15} = 2.7000$ | $n_{d15} = 1.48749$ | $\nu_{d15} = 70.23$ |
| $r_{16} = -15.2711$ | | |
| $d_{16} = D\ 1\ 6$ | $n_{d16} = 1.69350$ | $\nu_{d16} = 53.21$ |
| $r_{17} = \infty$ | | |
| $d_{17} = 0.9300$ | $n_{d17} = 1.54771$ | $\nu_{d17} = 62.84$ |
| $r_{18} = \infty$ | | |
| $d_{18} = 0.7000$ | | |
| $r_{19} = \infty$ | | |
| $d_{19} = 0.7000$ | | |
| $r_{20} = \infty$ | | |
| $d_{20} = D\ 2\ 0$ | | |
| $r_{21} = \infty$ (撮像面) | | |

非球面係数

第1面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= 2.1326 \times 10^{-3} & A_6 &= -3.7377 \times 10^{-5} \\ A_8 &= 7.9883 \times 10^{-7} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第3面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -1.0134 \times 10^{-3} & A_6 &= 4.7985 \times 10^{-6} \\ A_8 &= -1.5827 \times 10^{-7} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第5面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= 5.2064 \times 10^{-4} & A_6 &= 5.5598 \times 10^{-6} \\ A_8 &= -3.2808 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第6面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -1.3075 \times 10^{-4} & A_6 &= 3.8243 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -8.6690 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第10面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -3.6414 \times 10^{-4} & A_6 &= 1.0886 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -1.5741 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第11面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= 4.0592 \times 10^{-4} & A_6 &= 1.8858 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -1.9277 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|---------|---------|----------|
| f (mm) | 5.15163 | 8.66919 | 14.60011 |
| Fno. | 2.8363 | 3.8370 | 4.8273 |

| | | | |
|-------|----------|----------|-----------|
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 1. 2993 | 3. 65215 | 6. 63822 |
| D 8 | 6. 23846 | 3. 88535 | 0. 89960 |
| D 9 | 6. 70978 | 3. 34865 | 0. 99969 |
| D 1 4 | 3. 72065 | 7. 35014 | 10. 17139 |
| D 1 6 | 1. 30126 | 1. 03221 | 0. 56066 |
| D 2 0 | 0. 89927 | 0. 89861 | 0. 89850 |

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（2 0 c m）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 177. 30496 | 177. 30496 | 177. 30496 |
| D 4 | 1. 29934 | 3. 65215 | 6. 63822 |
| D 8 | 6. 23846 | 3. 88535 | 0. 89960 |
| D 9 | 6. 70978 | 3. 34865 | 0. 99969 |
| D 1 4 | 3. 52859 | 6. 81371 | 8. 74413 |
| D 1 6 | 1. 49332 | 1. 56863 | 1. 98792 |
| D 2 0 | 0. 89927 | 0. 89861 | 0. 98950 |

第 7 実施例

図 2 9 は本発明にズームレンズの第 7 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 3 0 A、3 0 B 及び 3 0 C は第 7 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図 3 1 A～3 1 D、3 1 E～3 1 H 及び 3 1 I～3 1 L は第 7 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図 3 2 A～3 2 D、3 2 E～3 2 H 及び 3 2 I～3 2 L は第 7 実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。

図29中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第4実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に配置された、像側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と両凸正レンズL2₂とで構成されている。

第3レンズ群G3は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃との接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、両凸正レンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1と開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G3の接合レンズは物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時に際しては、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面、及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第7実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 7

$$r_1 = -5.5389 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 6.0000$$

$$n_{d1} = 1.84666$$

$$\nu_{d1} = 23.278$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.1500$$

$$r_3 = 7.9429 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 2.4000$$

$$n_{d3} = 1.80610$$

$$\nu_{d3} = 40.92$$

$$r_4 = -16.2044$$

$$d_4 = D_4$$

$$r_5 = -10.4750 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000$$

$$n_{d5} = 1.74320$$

$$\nu_{d5} = 49.34$$

$$r_6 = 5.7272 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 13.8244$$

$$d_7 = 1.4000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = -47.0781$$

$$d_8 = D_8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = 6.4631$$

$$r_{10} = 10.0272 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 10.0272$$

$$n_{d10} = 7.3544$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -7.8359 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 17.0148$$

$$d_{12} = 2.4988$$

$$n_{d12} = 1.51742$$

$$\nu_{d12} = 52.43$$

$$r_{13} = -7.0740$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.80518$$

$$\nu_{d13} = 25.42$$

$$r_{14} = 6.2662$$

$$\begin{aligned}
d_{14} &= D\ 1\ 4 \\
r_{15} &= 8.3747 \\
d_{15} &= 2.5000 & n_{d15} &= 1.48749 & \nu_{d15} &= 70.23 \\
r_{16} &= -18.1774 \\
d_{16} &= D\ 1\ 6 \\
r_{17} &= -141.5544 \text{ (非球面)} \\
d_{17} &= 0.7000 & n_{d17} &= 1.58423 & \nu_{d17} &= 30.249 \\
r_{18} &= \infty \\
d_{18} &= 0.7000 \\
r_{19} &= \infty \\
d_{19} &= 0.6000 & n_{d19} &= 1.54771 & \nu_{d19} &= 62.84 \\
r_{20} &= \infty \\
d_{20} &= D\ 2\ 0 \\
r_{21} &= \infty \text{ (撮像面)}
\end{aligned}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=2.4814 \times 10^{-3} \quad A_6=-4.0712 \times 10^{-5}$$

$$A_8=1.3226 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-1.1930 \times 10^{-3} \quad A_6=1.5418 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-2.5464 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-2.0881 \times 10^{-3} \quad A_6=2.3414 \times 10^{-4}$$

$$A_8=-5.6282 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -3.4938 \times 10^{-3} \quad A_6 = 2.2340 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -5.8606 \times 10^{-7} \quad A_{10} = 0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -4.2747 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.1457 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -3.1682 \times 10^{-7} \quad A_{10} = 0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 3.9300 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.2046 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -2.4570 \times 10^{-9} \quad A_{10} = 0$$

第17面

$$K=0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 2.4873 \times 10^{-3} \quad A_6 = -1.7543 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = 5.7543 \times 10^{-6} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.60265 | 7.79964 | 13.19953 |
| Fno. | 2.8520 | 3.7014 | 4.8074 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 0.99533 | 3.39288 | 5.65079 |
| D8 | 5.55453 | 3.15642 | 0.89912 |
| D9 | 6.46310 | 3.52840 | 0.99886 |
| D14 | 1.14964 | 4.34907 | 7.81548 |
| D16 | 2.40112 | 2.13799 | 1.19953 |
| D201 | 0.89976 | 0.89807 | 0.89973 |

D 0（物体から第1面までの距離）が近距離（20 cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|------|-----------|-----------|-----------|
| D 0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D 4 | 0.99533 | 3.39288 | 5.65079 |
| D 8 | 5.55453 | 3.15642 | 0.89912 |
| D 9 | 6.46310 | 3.52840 | 0.99886 |
| D 14 | 0.99921 | 3.91874 | 6.56783 |
| D 16 | 2.55156 | 2.56832 | 2.44718 |
| D 20 | 0.89973 | 0.89807 | 0.89973 |

実施例 8

図33は本発明によるズームレンズの第5実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図34A、43B及び34Cは第8実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図35A～35D、35E～35H及び35I～35Lは第8実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。図36A～36D、36E～36H及び36I～36Kは第8実施例にかかるズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差を示す図であり、広角端、中間、及び望遠端での状態を示している。

図33中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、撮像面Iが配置されている。

そして、第5実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5を有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面

I Fを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL₁構成されている。

第2レンズ群G₂は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL_{2₁}と正メニスカスレンズL_{2₂}で構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G₃は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL_{3₁}と、両凸正レンズL_{3₂}と両凹負レンズL_{3₃}の接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G₄は、正メニスカスレンズL₄で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G₁及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G₂は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G₃は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G₄が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G₁中のプリズムPの光線入射面I Fのほかに、第1レンズ群G₁中の両凸正レンズL₁の物体側の面、第2レンズ群G₂中の両凹負レンズL_{2₁}の両側面、第3レンズ群G₃中の両凸正レンズL_{3₁}の両側面に夫々設けられている。

次に、第8実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 8

$r_1 = -9.4520$ (非球面)

$d_1 = 8.2000$

$n_{d1} = 1.80518$

$\nu_{d1} = 25.42$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 9.6078$ (非球面)

$d_3 = 2.3000$

$n_{d3} = 1.78800$

$\nu_{d3} = 47.37$

$r_4 = -36.5601$

$d_4 = D4$

$r_5 = -12.2968$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.74320$

$\nu_{d5} = 49.34$

$$r_6 = 5.0653 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 7.3064$$

$$d_7 = 1.5000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = 30.2966$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D9$$

$$r_{10} = 10.4103 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 5.8865$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -6.9390 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 8.4519$$

$$d_{12} = 2.4987$$

$$n_{d12} = 1.51742$$

$$\nu_{d12} = 52.43$$

$$r_{13} = -10.7434$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 4.1500$$

$$d_{14} = D14$$

$$r_{15} = 6.0955$$

$$d_{15} = 1.8000$$

$$n_{d15} = 1.48749$$

$$\nu_{d15} = 70.23$$

$$r_{16} = 9.7078$$

$$d_{16} = D16$$

$$r_{17} = 8.7554 \text{ (非球面)}$$

$$d_{17} = 1.8000$$

$$n_{d17} = 1.58423$$

$$\nu_{d17} = 30.49$$

$$r_{18} = \infty$$

$$d_{18} = 0.7000$$

$$r_{19} = \infty$$

$$d_{19} = 0.6000$$

$$n_{d19} = 1.51633$$

$$\nu_{d19} = 64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D \ 2 \ 0$$

$$r_{21}=\infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=9.5837 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.1998 \times 10^{-5}$$

$$A_8=1.1926 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-5.2184 \times 10^{-4} \quad A_6=1.4369 \times 10^{-6}$$

$$A_8=1.3193 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-8.5131 \times 10^{-4} \quad A_6=1.2914 \times 10^{-4}$$

$$A_8=-5.4974 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-1.8812 \times 10^{-3} \quad A_6=1.7977 \times 10^{-4}$$

$$A_8=-1.1418 \times 10^{-5} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-9.0524 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.4899 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-2.7354 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=2.0252 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.5683 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-2.5889 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第17面

K=0

$$A_2=0 \quad A_4=1.3132 \times 10^{-4} \quad A_6=2.2399 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-2.5971 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D0（物体から第1面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.60394 | 7.80037 | 13.19942 |
| Fno. | 2.8634 | 3.5902 | 4.5306 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 0.99877 | 3.91855 | 6.57280 |
| D8 | 6.47386 | 3.54652 | 0.89974 |
| D9 | 5.54148 | 3.31646 | 0.99874 |
| D14 | 1.37738 | 3.62339 | 5.91816 |
| D16 | 1.19791 | 1.19758 | 1.19992 |
| D20 | 0.89970 | 0.87855 | 0.89957 |

D0（物体から第1面までの距離）が近距離（20cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| D0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D4 | 0.99877 | 3.91855 | 6.57280 |
| D8 | 6.47386 | 3.54652 | 0.89974 |
| D9 | 5.54148 | 3.31646 | 0.99874 |
| D14 | 0.99871 | 2.57975 | 3.15075 |
| D16 | 1.57658 | 2.24122 | 3.96733 |
| D20 | 0.89970 | 0.87855 | 0.89957 |

実施例9

図37は本発明によるズームレンズの第9実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図38A、38B及び38Cは第9実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。

図37中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、撮像面Iが配置されている。

そして、第6実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5を有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と正メニスカスレンズL2₂で構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、正メニスカスレンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G3は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面、第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第9実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 9

$$r_1 = -8.7157 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 9.0000 \quad n_{d1} = 1.84666 \quad \nu_{d1} = 23.78$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.1500$$

$$r_3 = 10.5728 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 2.6000 \quad n_{d3} = 1.80610 \quad \nu_{d3} = 40.92$$

$$r_4 = -34.0080$$

$$d_4 = D4$$

$$r_5 = -24.0290 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000 \quad n_{d5} = 1.74320 \quad \nu_{d5} = 49.34$$

$$r_6 = 5.1842 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 5.8548$$

$$d_7 = 1.8000 \quad n_{d7} = 1.84666 \quad \nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = 11.8374$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D9$$

$$r_{10} = 13.7347 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 5.3762 \quad n_{d10} = 1.74320 \quad \nu_{d10} = 49.34$$

$$r_{11} = -7.8051 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 7.2012$$

$$d_{12} = 2.4994 \quad n_{d12} = 1.58913 \quad \nu_{d12} = 61.14$$

$$r_{13} = -15.3665$$

$$d_{13} = 0.7000 \quad n_{d13} = 1.84666 \quad \nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14}=3.7167$$

$$d_{14}=D14$$

$$r_{15}=5.5508$$

$$d_{15}=1.8000$$

$$n_{d15}=1.48749$$

$$\nu_{d15}=70.23$$

$$r_{16}=9.3520$$

$$d_{16}=D16$$

$$r_{17}=8.2297 \text{ (非球面)}$$

$$d_{17}=1.8000$$

$$n_{d17}=1.58423$$

$$\nu_{d17}=30.49$$

$$r_{18}=\infty$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (摄像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=9.6662 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.0249 \times 10^{-5}$$

$$A_8=1.0646 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=-4.4695 \times 10^{-4} \quad A_6=1.3112 \times 10^{-6}$$

$$A_8=5.2291 \times 10^{-9} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=2.2884 \times 10^{-4} \quad A_6=4.8469 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-5.9453 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第6面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= 3.2939 \times 10^{-5} & A_6 &= 5.5346 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -4.4739 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第10面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -8.4805 \times 10^{-4} & A_6 &= -2.7838 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -4.4218 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第11面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -1.5902 \times 10^{-4} & A_6 &= -1.8104 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -5.7930 \times 10^{-7} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

第17面

K=0

$$\begin{aligned} A_2 &= 0 & A_4 &= -1.4952 \times 10^{-4} & A_6 &= 3.7214 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -2.5629 \times 10^{-6} & A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

ズームデータ

D0（物体から第1面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.13341 | 7.00171 | 11.89892 |
| Fno. | 2.8582 | 3.5563 | 4.1904 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 1.00056 | 4.56699 | 8.48067 |
| D8 | 8.37987 | 4.80614 | 0.89962 |
| D9 | 4.98567 | 2.71479 | 0.99930 |
| D14 | 1.27783 | 3.57887 | 5.26459 |
| D16 | 1.19857 | 1.19668 | 1.19838 |
| D20 | 0.89975 | 0.87083 | 0.89958 |

D 0（物体から第1面までの距離）が近距離（20 cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|------|-----------|-----------|-----------|
| D 0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D 4 | 1.00056 | 4.56699 | 8.48067 |
| D 8 | 8.37987 | 4.80614 | 0.89962 |
| D 9 | 4.98567 | 2.71479 | 0.99930 |
| D 14 | 0.99902 | 2.80501 | 3.16154 |
| D 16 | 1.47738 | 1.97055 | 3.30143 |
| D 20 | 0.89975 | 0.87083 | 0.89958 |

実施例10

図39は本発明によるズームレンズの第10実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図40A、40B及び40Cは第10実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図39中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、撮像面Iが配置されている。

そして、第7実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5を有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と正メニスカスレンズL2₂で構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、正メニスカスレンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G3は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第10実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ10

$r_1 = -6.6280$ (非球面)

$d_1 = 7.2000$

$n_{d1} = 1.84666$

$\nu_{d1} = 23.78$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 8.6973$ (非球面)

$d_3 = 2.4000$

$n_{d3} = 1.80610$

$\nu_{d3} = 40.92$

$r_4 = -23.8351$

$d_4 = D4$

$r_5 = -9.2324$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.74320$

$\nu_{d5} = 49.34$

$r_6 = 6.3171$ (非球面)

$d_6 = 0.6000$

$r_7 = 9.4464$

$d_7 = 1.4000$

$n_{d7} = 1.84666$

$\nu_{d7} = 23.78$

$$r_8 = 116.6983$$

$$d_8 = D\ 8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D\ 9$$

$$r_{10} = 8.1004 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 6.0304$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -9.7486 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 11.9785$$

$$d_{12} = 2.8414$$

$$n_{d12} = 1.51742$$

$$\nu_{d12} = 52.43$$

$$r_{13} = -5.3173$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 6.3164$$

$$d_{14} = D\ 1\ 4$$

$$r_{15} = 9.8113$$

$$d_{15} = 2.1000$$

$$n_{d15} = 1.51742$$

$$\nu_{d15} = 52.43$$

$$r_{16} = 167.1713$$

$$d_{16} = D\ 1\ 6$$

$$r_{17} = 11.2264$$

$$d_{17} = 1.6000$$

$$n_{d17} = 1.58423$$

$$\nu_{d17} = 30.49$$

$$r_{18} = \infty$$

$$d_{18} = 0.7000$$

$$r_{19} = \infty$$

$$d_{19} = 0.6000$$

$$n_{d19} = 1.51633$$

$$\nu_{d19} = 64.14$$

$$r_{20} = \infty$$

$$d_{20} = D\ 2\ 0$$

$$r_{21} = \infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.6305 \times 10^{-3} \quad A_6=-2.3942 \times 10^{-5}$$

$$A_8=4.9451 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-7.6763 \times 10^{-4} \quad A_6=6.4278 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-7.3971 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.1638 \times 10^{-3} \quad A_6=-2.2384 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-1.8966 \times 10^{-5} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=3.0143 \times 10^{-4} \quad A_6=3.1934 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-2.3254 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-4.6750 \times 10^{-4} \quad A_6=1.3749 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-9.4928 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=6.5795 \times 10^{-5} \quad A_6=-4.4820 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-6.3863 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|---------|---------|----------|
| f (mm) | 4.39435 | 7.47036 | 12.65489 |

| | | | |
|--------|----------|----------|----------|
| F n o. | 2. 8183 | 3. 5292 | 4. 4487 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0. 99960 | 4. 05794 | 6. 79599 |
| D 8 | 6. 69639 | 3. 63775 | 0. 89990 |
| D 9 | 5. 58963 | 3. 35096 | 0. 99940 |
| D 1 4 | 1. 27582 | 3. 51436 | 5. 86556 |
| D 1 6 | 1. 19832 | 1. 19979 | 1. 19892 |
| D 2 0 | 0. 90011 | 0. 89837 | 0. 89981 |

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（2 0 c m）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 177. 30496 | 177. 30496 | 177. 30496 |
| D 4 | 0. 99960 | 4. 56699 | 8. 48067 |
| D 8 | 6. 69639 | 3. 63775 | 0. 89990 |
| D 9 | 5. 58963 | 3. 35096 | 0. 99940 |
| D 1 4 | 0. 99945 | 2. 74953 | 3. 85600 |
| D 1 6 | 1. 47468 | 1. 96462 | 3. 20849 |
| D 2 0 | 0. 90011 | 0. 89837 | 0. 89981 |

実施例 1 1

図 4 1 は本発明によるズームレンズの第 8 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 4 0 A、4 0 B 及び 4 0 C は第 1 1 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図 4 1 中、I は電子撮像素子である CCD の撮像面、CG は CCD カバーガラス、L P F は光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルター L P F と、CCD カバーガラス CG と、撮像面 I が配置されている。

そして、第8実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5を有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と両凸正レンズL2₂で構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、正メニスカスレンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は物体側へのみ移動し、第3レンズ群G3は像側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第11実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ11

$$r_1 = -7.3888 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 7.7000$$

$$n_{d1} = 1.84666$$

$$\nu_{d1} = 23.78$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.1500$$

$$r_3 = 9.2760 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 2.5000$$

$$n_{d3} = 1.81474$$

$$\nu_{d3} = 37.03$$

$$r_4 = -27.0079$$

$$d_4 = D4$$

$$r_5 = -7.5903 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000$$

$$n_{d5} = 1.74320$$

$$\nu_{d5} = 49.34$$

$$r_6 = 8.4809 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 15.7026$$

$$d_7 = 1.6000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = -40.5377$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D9$$

$$r_{10} = 8.9882 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 4.0001$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -9.7388 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 11.3104$$

$$d_{12} = 2.0743$$

$$n_{d12} = 1.56384$$

$$\nu_{d12} = 60.67$$

$$r_{13} = -16.6974$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 5.0192$$

$$d_{14} = D14$$

$$r_{15} = 9.3843$$

$$d_{15} = 1.8000$$

$$n_{d15} = 1.48794$$

$$\nu_{d15} = 70.23$$

$$r_{16} = 187.5375$$

$$d_{16} = D16$$

$$r_{17}=9.3972$$

$$d_{17}=1.6000$$

$$n_{d17}=1.68893$$

$$\nu_{d17}=31.07$$

$$r_{18}=24.2276$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=1.4000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=0.6000$$

$$r_{21}=\infty$$

$$d_{21}=0.6000$$

$$r_{22}=\infty$$

$$d_{22}=D\ 2\ 2$$

$$r_{23}=\infty \text{ (摄像面)}$$

非球面系数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.3911 \times 10^{-3} \quad A_6=-1.8577 \times 10^{-5}$$

$$A_8=2.8434 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-6.4429 \times 10^{-4} \quad A_6=3.6455 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-2.1185 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.3672 \times 10^{-3} \quad A_6=8.9594 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-1.6235 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = 3.6245 \times 10^{-4} \quad A_6 = 6.7383 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -5.6459 \times 10^{-6} \quad A_{10} = 0$$

第10面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -7.4708 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.5948 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -1.5411 \times 10^{-6} \quad A_{10} = 0$$

第11面

$$K = 0$$

$$A_2 = 0 \quad A_4 = -1.5349 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.8657 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -6.1411 \times 10^{-7} \quad A_{10} = 0$$

ズームデータ

D0（物体から第1面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.02399 | 6.47589 | 10.83793 |
| Fno. | 2.8489 | 3.5064 | 4.3811 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 0.99933 | 3.84470 | 6.72373 |
| D8 | 7.02438 | 4.18365 | 1.29993 |
| D9 | 6.65081 | 4.06962 | 1.29970 |
| D14 | 1.22479 | 3.79651 | 6.57608 |
| D16 | 1.19883 | 1.20089 | 1.19879 |
| D22 | 0.89973 | 0.90511 | 0.89962 |

D0（物体から第1面までの距離）が近距離（20cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|----|-----------|-----------|-----------|
| D0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D4 | 0.99933 | 3.84470 | 6.72373 |
| D8 | 7.02438 | 4.18365 | 1.29993 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 9 | 6. 65081 | 4. 06962 | 1. 29970 |
| D 1 4 | 0. 99978 | 3. 22752 | 5. 05760 |
| D 1 6 | 1. 42384 | 1. 76988 | 2. 71726 |
| D 2 2 | 0. 89973 | 0. 90511 | 0. 89973 |

実施例 1 2

図 4 3 は本発明によるズームレンズの第 9 実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 4 A, 4 4 B 及び 4 4 C は第 1 2 実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。

図 4 3 中、I は電子撮像素子である CCD の撮像面、CG は CCD カバーガラス、LPF は光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルター LPF と、CCD カバーガラス CG と、撮像面 I が配置されている。

そして、第 9 実施例のズームレンズは、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、第 2 レンズ群 G 2 と、開口絞り S と、第 3 レンズ群 G 3 と、第 4 レンズ群 G 4 と、第 5 レンズ群 G 5 を有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面 RF と物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面 IF を有するプリズム P と、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズム P は、光路を 90° 折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズ L 1 で構成されている。

第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に配置された、両凹負レンズ L 2₁ と両凸正レンズ L 2₂ で構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第 3 レンズ群 G 3 は、物体側から順に配置された、両凸正レンズ L 3₁ と、両凸正レンズ L 3₂ と両凹負レンズ L 3₃ の接合レンズで構成されている。

第 4 レンズ群 G 4 は、正メニスカスレンズ L 4 で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G3は物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第12実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ12

$r_1 = -9.0619$ (非球面)

$d_1 = 1.0000$

$n_{d1} = 1.68893$

$\nu_{d1} = 31.07$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 17.2821$ (非球面)

$d_3 = 2.4000$

$n_{d3} = 1.80610$

$\nu_{d3} = 40.92$

$r_4 = -21.5319$

$d_4 = D4$

$r_5 = -7.7097$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.74320$

$\nu_{d5} = 49.34$

$r_6 = 14.4282$ (非球面)

$d_6 = 0.6000$

$r_7 = 23.9607$

$d_7 = 1.5000$

$n_{d7} = 1.84666$

$\nu_{d7} = 23.78$

$r_8 = -44.7940$

$d_8 = D8$

$r_9 = \infty$ (絞り)

$d_9 = D9$

$$r_{10}=6.1037 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10}=2.8002$$

$$n_{d10}=1.69350$$

$$\nu_{d10}=53.21$$

$$r_{11}=-16.4369 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11}=0.1500$$

$$r_{12}=10.2395$$

$$d_{12}=1.9994$$

$$n_{d12}=1.69680$$

$$\nu_{d12}=55.53$$

$$r_{13}=-17.5185$$

$$d_{13}=0.7000$$

$$n_{d13}=1.84666$$

$$\nu_{d13}=23.78$$

$$r_{14}=3.8167$$

$$d_{14}=D14$$

$$r_{15}=6.7418$$

$$d_{15}=1.5000$$

$$n_{d15}=1.69680$$

$$\nu_{d15}=55.53$$

$$r_{16}=11.9475$$

$$d_{16}=D16$$

$$r_{17}=7.8831$$

$$d_{17}=2.0000$$

$$n_{d17}=1.58423$$

$$\nu_{d17}=30.49$$

$$r_{18}=\infty$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0$$

$$A_4=6.9910 \times 10^{-4}$$

$$A_6=-5.3200 \times 10^{-6}$$

$$A_8=5.1494 \times 10^{-6}$$

$$A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-2.5089 \times 10^{-4} \quad A_6=1.4153 \times 10^{-8}$$

$$A_8=2.0781 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.3578 \times 10^{-3} \quad A_6=7.8893 \times 10^{-6}$$

$$A_8=-6.6111 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=8.2151 \times 10^{-4} \quad A_6=1.5236 \times 10^{-5}$$

$$A_8=1.6217 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-2.0678 \times 10^{-4} \quad A_6=-7.1539 \times 10^{-6}$$

$$A_8=9.3311 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=8.1607 \times 10^{-4} \quad A_6=-3.9364 \times 10^{-6}$$

$$A_8=1.4308 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 3.57923 | 5.98995 | 10.30823 |
| F n o. | 2.8661 | 3.4262 | 4.7381 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0.99493 | 5.29555 | 7.90023 |
| D 8 | 7.80489 | 3.49887 | 0.89972 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 9 | 6. 48820 | 4. 54211 | 1. 00154 |
| D 1 4 | 1. 19512 | 3. 15204 | 6. 67792 |
| D 1 6 | 1. 20075 | 1. 19911 | 1. 20428 |
| D 2 0 | 0. 90002 | 0. 89493 | 0. 90026 |

D 0（物体から第1面までの距離）が近距離（20 cm）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 177. 30496 | 177. 30496 | 177. 30496 |
| D 4 | 0. 99493 | 5. 29555 | 7. 90023 |
| D 8 | 7. 80489 | 3. 49887 | 0. 89972 |
| D 9 | 6. 48820 | 4. 54211 | 1. 00154 |
| D 1 4 | 0. 99721 | 2. 61302 | 5. 16528 |
| D 1 6 | 1. 39866 | 1. 73813 | 2. 71691 |
| D 2 0 | 0. 90002 | 0. 89493 | 0. 90026 |

実施例 1 3

図45は本発明によるズームレンズの第13実施例にかかる光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図46A、46B及び46Cは第13実施例にかかるズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。

図45中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGはCCDカバーガラス、LPFは光学的ローパスフィルターで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、光学的ローパスフィルターLPFと、CCDカバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第10実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5を有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFを有するプリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

プリズムPは、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。

後側副群は、両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に配置された、両凹負レンズL2₁と両凸正レンズL2₂で構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、物体側から順に配置された、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズで構成されている。

第4レンズ群G4は、正メニスカスレンズL4で構成されている。

無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1及び開口絞りSは位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へのみ移動し、第3レンズ群G3は物体側へのみ移動するようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両側面及び第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両側面に夫々設けられている。

次に、第13実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ13

$r_1 = -11.4720$ (非球面)

$d_1 = 11.3000$

$n_{d1} = 1.68893$

$\nu_{d1} = 31.07$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 18.7311$ (非球面)

$d_3 = 2.4000$

$n_{d3} = 1.78800$

$\nu_{d3} = 47.37$

$r_4 = -28.7254$

| | | |
|---------------------------|---------------------|---------------------|
| $d_4 = D\ 4$ | | |
| $r_5 = -6.8934$ (非球面) | | |
| $d_5 = 0.8000$ | $n_{d5} = 1.74320$ | $\nu_{d5} = 49.34$ |
| $r_6 = 10.9555$ (非球面) | | |
| $d_6 = 0.6000$ | | |
| $r_7 = 24.4160$ | | |
| $d_7 = 1.5000$ | $n_{d7} = 1.84666$ | $\nu_{d7} = 23.78$ |
| $r_8 = -22.8940$ | | |
| $d_8 = D\ 8$ | | |
| $r_9 = \infty$ (絞り) | | |
| $d_9 = D\ 9$ | | |
| $r_{10} = 6.1037$ (非球面) | | |
| $d_{10} = 2.8019$ | $n_{d10} = 1.69350$ | $\nu_{d10} = 53.21$ |
| $r_{11} = -11.8283$ (非球面) | | |
| $d_{11} = 0.1500$ | | |
| $r_{12} = 7.6193$ | | |
| $d_{12} = 2.0028$ | $n_{d12} = 1.69680$ | $\nu_{d12} = 55.53$ |
| $r_{13} = -37.5914$ | | |
| $d_{13} = 0.7000$ | $n_{d13} = 1.84666$ | $\nu_{d13} = 23.78$ |
| $r_{14} = 4.3208$ | | |
| $d_{14} = D\ 1\ 4$ | | |
| $r_{15} = 7.5870$ | | |
| $d_{15} = 1.5000$ | $n_{d15} = 1.69680$ | $\nu_{d15} = 55.53$ |
| $r_{16} = 15.1487$ | | |
| $d_{16} = D\ 1\ 6$ | | |
| $r_{17} = 16.7801$ | | |
| $d_{17} = 2.0000$ | $n_{d17} = 1.69680$ | $\nu_{d17} = 55.53$ |
| $r_{18} = \infty$ | | |

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=4.5902 \times 10^{-4} \quad A_6=-2.6743 \times 10^{-6}$$

$$A_8=1.3133 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-1.9867 \times 10^{-4} \quad A_6=-1.6733 \times 10^{-6}$$

$$A_8=4.5618 \times 10^{-8} \quad A_{10}=0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=1.2906 \times 10^{-3} \quad A_6=4.4242 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-1.1377 \times 10^{-6} \quad A_{10}=0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=3.8770 \times 10^{-4} \quad A_6=8.2848 \times 10^{-5}$$

$$A_8=-6.2566 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_2=0 \quad A_4=-2.9960 \times 10^{-4} \quad A_6=-2.1630 \times 10^{-5}$$

$$A_8=4.1050 \times 10^{-7} \quad A_{10}=0$$

第11面

K=0

$A_2=0$ $A_4=2.7796 \times 10^{-4}$ $A_6=-2.2527 \times 10^{-5}$

$A_8=3.9507 \times 10^{-7}$ $A_{10}=0$

ズームデータ

D 0（物体から第 1 面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 3.27089 | 5.53615 | 9.40819 |
| F n o. | 2.8073 | 3.3890 | 4.9727 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 1.38761 | 5.87153 | 7.66619 |
| D 8 | 7.17738 | 2.68886 | 0.89882 |
| D 9 | 6.68143 | 4.73249 | 0.99780 |
| D 1 4 | 1.14079 | 3.12406 | 6.83407 |
| D 1 6 | 1.21121 | 1.19657 | 1.20159 |
| D 2 0 | 0.90026 | 0.88113 | 0.90016 |

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（2 0 c m）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| D 0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D 4 | 1.38761 | 5.87153 | 7.66619 |
| D 8 | 7.17738 | 2.68886 | 0.89882 |
| D 9 | 6.68143 | 4.73249 | 0.99780 |
| D 1 4 | 1.00143 | 2.73491 | 5.76408 |
| D 1 6 | 1.35057 | 1.58573 | 2.27159 |
| D 2 0 | 0.90026 | 0.88113 | 0.90016 |

なお、本発明の各実施例では、いずれも、折り曲げ方向を上述のように電子撮像素子（CCD）の長辺方向（水平方向）としている。短辺方向（垂直方向）へ折り曲がるようにした方が、折り曲げのためのスペースが少なくて済み小型化には有利であるが、長

辺方向への折り曲げに対応できるようにしておけば、長辺、短辺のいずれへの折り曲げにも対応でき、レンズを組み込むカメラデザインの自由度が増して好ましい。

次に、上記第4乃至第13実施例における条件式のパラメータ等の値を表示する。なお、下表2中の実施例4～5の $S1=195.03546$ (mm)、実施例6～13の $S1=177.30496$ (mm)である。

【表2】

| | 実施例4 | 実施例5 | 実施例6 | 実施例7 | 実施例8 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| レンズデータ | 数値データ 4 | 数値データ 5 | 数値データ 6 | 数値データ 7 | 数値データ 8 |
| W半画角 (ω_w) | 29.3 | 32.2 | 29.0 | 33.2 | 31.9 |
| S半画角 | 19.1 | 19.1 | 17.5 | 19.9 | 18.4 |
| T半画角 | 12.8 | 11.5 | 10.5 | 11.9 | 11.3 |
| 最大像高 (y_{10}) | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.7 |
| β_{2W} | -0.5278 | -0.6968 | -0.8050 | -0.8829 | -0.6799 |
| β_{3W} | -0.6280 | -0.7545 | -0.7263 | -0.7848 | -0.6965 |
| $M4 \cdot S1$ | 4.350E+2 | 2.798E+2 | 2.531E+2 | 2.427E+2 | 4.911E+2 |
| f_w / f_R | ----- | ----- | ----- | -0.01900 | 0.30721 |
| ν_F | 52.43 | 64.14 | 70.23 | 70.23 | 70.23 |
| ν_R | ----- | ----- | ----- | 30.49 | 30.49 |
| ν_{12} | 53.21 | 71.30 | 53.21 | 40.92 | 47.37 |
| n_{12} | 1.69350 | 1.56907 | 1.69350 | 1.80610 | 1.78800 |
| $D3/D2$ | 0.98629 | 0.94716 | 1.07552 | 1.16357 | 0.85598 |
| $y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w})$ | 0.97032 | 0.97529 | 0.97232 | 0.85878 | 0.97035 |
| f_w / y_{10} | 1.88870 | 1.68436 | 1.90801 | 1.70469 | 1.70516 |

| | 実施例9 | 実施例10 | 実施例11 | 実施例12 | 実施例13 |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| レンズデータ | 数値データ 9 | 数値データ 10 | 数値データ 11 | 数値データ 12 | 数値データ 13 |
| W半画角 (ω_w) | 34.7 | 33.5 | 35.9 | 39.7 | 42.2 |
| S半画角 | 20.4 | 20.4 | 23.1 | 24.0 | 25.5 |
| T半画角 | 12.5 | 11.9 | 13.8 | 14.5 | 15.8 |
| 最大像高 (y_{10}) | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 |
| β_{2W} | -0.6265 | -0.6846 | -0.7253 | -0.5979 | -0.4234 |
| β_{3W} | -0.6381 | -0.7020 | -0.7598 | -0.5902 | -0.4994 |

| | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| $M4 \cdot S1$ | 3.732E+2 | 3.564E+2 | 2.692E+2 | 2.691E+2 | 1.906E+2 |
| f_w / f_R | 0.29344 | 0.22869 | 0.18853 | 0.26527 | 0.13583 |
| ν_F | 70.23 | 52.43 | 70.23 | 55.53 | 55.53 |
| ν_R | 30.49 | 30.49 | 31.07 | 30.49 | 55.53 |
| ν_{12} | 40.92 | 40.92 | 37.03 | 40.92 | 47.37 |
| n_{12} | 1.80610 | 1.80610 | 1.81474 | 1.80610 | 1.78800 |
| $D3/D2$ | 0.59496 | 0.83472 | 0.94682 | 0.83130 | 0.93090 |
| $y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w})$ | 0.97058 | 0.89759 | 0.89684 | 0.87510 | 0.87910 |
| f_w / y_{10} | 1.53089 | 1.62754 | 1.49037 | 1.32564 | 1.21144 |

上記表中、有効画角は歪曲デジタル補正後のものが記載されている。補正を実施したのは、実施例7と10～13である。基本的に像高が短辺を半径と一致するところの画角を変えずにその他の像高の画角が変化している。

第14実施例

図47は本発明にかかるズームレンズの第14実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図48A、48B及び48Cは第14実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態をそれぞれ示している。図49A～49D、49E～49H及び49I～49Lは第14実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。また、図50A～50D、50E～50H及び50I～50Lは第14実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図47中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラスで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第1実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に配置された、プリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。プリズムPは、物体

側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面 R F と、物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面 I F とを有している。また、プリズム P は反射光学素子であって、光路を 90° 折り曲げる反射プリズムとして構成されている。一方、後側副群は 1 枚の両凸正レンズ L 1 で構成されている。

第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凹負レンズ L 2₁ と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2₂ とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第 3 レンズ群 G 3 は、両凸正レンズ L 3₁ と、両凸正レンズ L 3₂ と両凹負レンズ L 3₃ の接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第 4 レンズ群 G 4 は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 4₁ と、物体側が凸面に形成され像側が平面に形成された凸平正レンズ L 4₂ とで構成されている。なお、この凸平正レンズ L 4₂ の凸面側には、必要に応じ反射防止コートや赤外カットコートが付設されている。また、平面側には、必要に応じ赤外カットコートや光学的ローパスフィルターが付設されている。

第 1 4 実施例のズームレンズにおいては、無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第 1 レンズ群 G 1 は位置が固定され、第 2 レンズ群 G 2 は像側へ移動し、開口絞り S は位置が固定され、第 3 レンズ群 G 3 は物体側へ移動し、第 4 レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時には、第 4 レンズ群 G 4 が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第 1 レンズ群 G 1 中のプリズム P の光線入射面 I F のほかに、第 1 レンズ群 G 1 中の両凸正レンズ L 1 の物体側の面、第 2 レンズ群 G 2 中の両凹負レンズ L 2₁ の両面、第 3 レンズ群 G 3 中の両凸正レンズ L 3₁ の両面、第 4 レンズ群 G 4 中の凸平正レンズ L 4₂ の物体側の面にそれぞれ設けられている。

次に、第 1 4 実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ 1 4

$$r_1 = -6.3126 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 7.2000$$

$$n_{d1} = 1.84666$$

$$\nu_{d1} = 23.78$$

$$r_2 = \infty$$

$$d_2 = 0.1500$$

$$r_3 = 7.9075 \text{ (非球面)}$$

$$d_3 = 2.4000$$

$$n_{d3} = 1.80610$$

$$\nu_{d3} = 40.92$$

$$r_4 = -32.3622$$

$$d_4 = D4$$

$$r_5 = -16.8551 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 0.8000$$

$$n_{d5} = 1.74320$$

$$\nu_{d5} = 49.34$$

$$r_6 = 5.1593 \text{ (非球面)}$$

$$d_6 = 0.6000$$

$$r_7 = 6.9778$$

$$d_7 = 1.4000$$

$$n_{d7} = 1.84666$$

$$\nu_{d7} = 23.78$$

$$r_8 = 22.3055$$

$$d_8 = D8$$

$$r_9 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_9 = D9$$

$$r_{10} = 9.0856 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10} = 5.2004$$

$$n_{d10} = 1.69350$$

$$\nu_{d10} = 53.21$$

$$r_{11} = -7.1858 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11} = 0.1500$$

$$r_{12} = 13.5232$$

$$d_{12} = 2.7985$$

$$n_{d12} = 1.51742$$

$$\nu_{d12} = 52.43$$

$$r_{13} = -7.1597$$

$$d_{13} = 0.7000$$

$$n_{d13} = 1.84666$$

$$\nu_{d13} = 23.78$$

$$r_{14} = 4.5074$$

$$d_{14} = D14$$

$$r_{15} = 6.5896$$

$$d_{15} = 2.1000$$

$$n_{d15} = 1.48749$$

$$\nu_{d15} = 70.23$$

$$r_{16} = 58.8701$$

$$d_{16} = D16$$

$$r_{17}=11.5451 \text{ (非球面)}$$

$$d_{17}=1.6000$$

$$n_{d17}=1.58423$$

$$\nu_{d17}=30.49$$

$$r_{18}=\infty$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (撮像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_4 = 2.2960 \times 10^{-3} \quad A_6 = -4.0755 \times 10^{-5} \quad A_8 = 8.4958 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_4 = -9.7715 \times 10^{-4} \quad A_6 = 7.4325 \times 10^{-6} \quad A_8 = -8.0802 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_4 = -9.8384 \times 10^{-4} \quad A_6 = 1.0716 \times 10^{-4} \quad A_8 = -5.0787 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_4 = -1.7200 \times 10^{-3} \quad A_6 = 1.5306 \times 10^{-4} \quad A_8 = -1.1671 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = 0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_4 = -8.2826 \times 10^{-4} \quad A_6 = -2.0132 \times 10^{-5} \quad A_8 = -2.8436 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第 1 1 面

$$K=0$$

$$A_4 = 2.8435 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.2184 \times 10^{-5} \quad A_8 = -1.5285 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第 1 7 面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.6601 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.5929 \times 10^{-5} \quad A_8 = -1.2658 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 4.60543 | 7.39970 | 11.89888 |
| F n o. | 2.8829 | 3.6220 | 4.4948 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0.99784 | 3.64375 | 6.29756 |
| D 8 | 6.19915 | 3.55363 | 0.89936 |
| D 9 | 5.72406 | 3.31931 | 0.99818 |
| D 1 4 | 1.23607 | 3.63698 | 5.96010 |
| D 1 6 | 1.19738 | 1.20041 | 1.19936 |
| D 2 0 | 0.89973 | 0.89967 | 0.89973 |

D 0 (物体から第 1 面までの距離) が近距離 (2 0 c m) のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| D 0 | 177.30496 | 177.30496 | 177.30496 |
| D 4 | 0.99784 | 3.64375 | 6.29756 |
| D 8 | 6.19915 | 3.55363 | 0.89936 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 9 | 5. 72406 | 3. 31931 | 0. 99818 |
| D 1 4 | 0. 99744 | 3. 03933 | 4. 50511 |
| D 1 6 | 1. 43601 | 1. 79806 | 2. 65435 |
| D 2 0 | 0. 89973 | 0. 89967 | 0. 89966 |

第 1 5 実施例

図 5 1 は本発明にかかるズームレンズの第 2 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 5 2 A、5 2 B 及び 5 2 C は第 1 5 実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端、中間及び望遠端での状態をそれぞれ示している。図 5 3 A～5 3 D、5 3 E～5 3 H 及び 5 3 I～5 3 L は第 1 5 実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。また、図 5 4 A～5 4 D、5 4 E～5 4 H 及び 5 4 I～5 4 L は第 1 5 実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図 5 1 中、I は電子撮像素子である CCD の撮像面、CG は平面平板状の CCD カバーガラスで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、カバーガラス CG と、撮像面 I が配置されている。

そして、第 2 実施例のズームレンズは、物体側から順に、第 1 レンズ群 G 1 と、第 2 レンズ群 G 2 と、開口絞り S と、第 3 レンズ群 G 3 と、第 4 レンズ群 G 4 とを有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に配置された、プリズム P と、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。プリズム P は、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面 RF と、物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面 IF とを有している。また、プリズム P は反射光学素子であって、光路を 90° 折り曲げる反射プリズムとして構成されている。一方、後側副群は 1 枚の両凸正レンズ L 1 で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹負レンズL2₁と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第4レンズ群G4は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4₁と、物体側が凸面に形成され像側が平面に形成された凸平正レンズL4₂とで構成されている。なお、この凸平正レンズL4₂の凸面側には、必要に応じ反射防止コートや赤外カットコートが、また、平面側には、必要に応じ赤外カットコートや光学的ローパスフィルターが付設されている。

第15実施例のズームレンズにおいては、無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1は位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは位置が固定され、第3レンズ群G3は物体側へ移動し、第4レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両面、第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両面にそれぞれ設けられている。

次に、第15実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ15

$r_1 = -6.7689$ (非球面)

$d_1 = 7.2000$

$n_{d1} = 1.84666$

$\nu_{d1} = 23.78$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 8.8567$ (非球面)

$d_3 = 2.4000$

$n_{d3} = 1.80610$

$\nu_{d3} = 40.92$

$r_4 = -23.1719$

$d_4 = D4$

$r_5 = -8.5533$ (非球面)

| | | |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| $d_5=0.8000$ | $n_{d5}=1.74320$ | $\nu_{d5}=49.34$ |
| $r_6=6.2701$ (非球面) | | |
| $d_6=0.6000$ | | |
| $r_7=9.5560$ | | |
| $d_7=1.4000$ | $n_{d7}=1.84666$ | $\nu_{d7}=23.78$ |
| $r_8=413.6157$ | | |
| $d_8=D8$ | | |
| $r_9=\infty$ (絞り) | | |
| $d_9=D9$ | | |
| $r_{10}=8.7040$ (非球面) | | |
| $d_{10}=5.5070$ | $n_{d10}=1.69350$ | $\nu_{d10}=53.21$ |
| $r_{11}=-8.5323$ (非球面) | | |
| $d_{11}=0.1500$ | | |
| $r_{12}=11.1980$ | | |
| $d_{12}=2.7843$ | $n_{d12}=1.51742$ | $\nu_{d12}=52.43$ |
| $r_{13}=-5.6650$ | | |
| $d_{13}=0.7000$ | $n_{d13}=1.84666$ | $\nu_{d13}=23.78$ |
| $r_{14}=5.8327$ | | |
| $d_{14}=D14$ | | |
| $r_{15}=9.2482$ | | |
| $d_{15}=2.1000$ | $n_{d15}=1.51742$ | $\nu_{d15}=52.43$ |
| $r_{16}=78.4872$ | | |
| $d_{16}=D16$ | | |
| $r_{17}=10.0989$ | | |
| $d_{17}=1.6000$ | $n_{d17}=1.58423$ | $\nu_{d17}=30.49$ |
| $r_{18}=\infty$ | | |
| $d_{18}=0.7000$ | | |
| $r_{19}=\infty$ | | |

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (摄像面)}$$

非球面系数

第1面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.5457 \times 10^{-3} \quad A_6 = -2.1891 \times 10^{-5} \quad A_8 = 4.2528 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_4 = -7.4120 \times 10^{-4} \quad A_6 = 5.8864 \times 10^{-6} \quad A_8 = -6.1820 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.4436 \times 10^{-3} \quad A_6 = -2.6891 \times 10^{-5} \quad A_8 = 1.0886 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_4 = 4.3868 \times 10^{-4} \quad A_6 = 1.0451 \times 10^{-5} \quad A_8 = -2.6331 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_4 = -6.4968 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.2389 \times 10^{-6} \quad A_8 = -1.7631 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_4 = -2.9795 \times 10^{-5} \quad A_6 = -7.8603 \times 10^{-6} \quad A_8 = -7.1614 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ

D 0（物体から第 1 面までの距離）が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|-----------|
| f (mm) | 4. 13146 | 7. 00121 | 11. 89909 |
| F n o. | 2. 8661 | 3. 5482 | 4. 4790 |
| D 0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D 4 | 0. 99807 | 4. 10376 | 6. 81795 |
| D 8 | 6. 71926 | 3. 61353 | 0. 89929 |
| D 9 | 5. 47873 | 3. 35044 | 0. 99886 |
| D 1 4 | 1. 24880 | 3. 36864 | 5. 72664 |
| D 1 6 | 1. 19661 | 1. 20061 | 1. 19880 |
| D 2 0 | 0. 89940 | 0. 90452 | 0. 89903 |

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（2 0 c m）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 177. 30496 | 177. 30496 | 177. 30496 |
| D 4 | 0. 99807 | 4. 10376 | 6. 81795 |
| D 8 | 6. 71926 | 3. 61353 | 0. 89929 |
| D 9 | 5. 47873 | 3. 35044 | 0. 99886 |
| D 1 4 | 0. 99871 | 2. 67819 | 3. 88395 |
| D 1 6 | 1. 44670 | 1. 89106 | 3. 04149 |
| D 2 0 | 0. 89940 | 0. 90452 | 0. 89903 |

第 1 6 実施例

図 5 5 は本発明にかかるズームレンズの第 1 6 実施例の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端無限遠物点合焦時の折り曲げ時における状態を示している。図 5 6 A, 5 6 B 及び 5 6 C は第 1 6 実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時の光学構成を示す光軸に沿う断面図であり、広角端, 中間及び望遠端での状態をそれぞれ示している

。図57A～57D、57E～57H及び57I～57Lは第16実施例のズームレンズの無限遠物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を示している。また、図58A～58D、58E～58H及び58I～58Lは第16実施例のズームレンズの近距離物点合焦時における球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差をそれぞれ示す図であり、広角端、中間及び望遠端での状態を夫々示している。

図55中、Iは電子撮像素子であるCCDの撮像面、CGは平面平板状のCCDカバーガラスで、物体側から順に、本発明によるズームレンズと、カバーガラスCGと、撮像面Iが配置されている。

そして、第16実施例のズームレンズは、物体側から順に、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2と、開口絞りSと、第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4とを有している。

第1レンズ群G1は、物体側から順に配置された、プリズムPと、正の屈折力を有する後側副群とで構成されており、全体で正の屈折力を有している。プリズムPは、物体側から順に、物体側に光路を折り曲げるための反射面RFと、物体側に凹面であり光軸から離れるに従って発散性が弱まる非球面を持つ光線入射面IFとを有している。また、プリズムPは反射光学素子であって、光路を90°折り曲げる反射プリズムとして構成されている。一方、後側副群は1枚の両凸正レンズL1で構成されている。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹負レンズL2₁と、両凸正レンズL2₂とで構成されており、全体で負の屈折力を有している。

第3レンズ群G3は、両凸正レンズL3₁と、両凸正レンズL3₂と両凹負レンズL3₃の接合レンズとで構成されており、全体で正の屈折力を有している。

第4レンズ群G4は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL4₁と、物体側が凸面に形成され像側が平面に形成された凸平正レンズL4₂とで構成されている。なお、この凸平正レンズL4₂の凸面側には、必要に応じ反射防止コートや赤外カットコートが、また、平面側には、必要に応じ赤外カットコートや光学的ローパスフィルターが付設されている。

第16実施例のズームレンズにおいては、無限遠物点合焦時において広角端から望遠端へと変倍する際には、第1レンズ群G1は位置が固定され、第2レンズ群G2は像側へ移動し、開口絞りSは位置が固定され、第3レンズ群G3は物体側へ移動し、第4レンズ群は位置が固定されるようになっている。

また、合焦動作時には、第4レンズ群G4が光軸上を移動するようになっている。

非球面は、第1レンズ群G1中のプリズムPの光線入射面IFのほかに、第1レンズ群G1中の両凸正レンズL1の物体側の面、第2レンズ群G2中の両凹負レンズL2₁の両面、第3レンズ群G3中の両凸正レンズL3₁の両面にそれぞれ設けられている。

次に、第16実施例のズームレンズを構成する光学部材の数値データを示す。

数値データ16

$r_1 = -9.0803$ (非球面)

$d_1 = 10.0000$

$n_{d1} = 1.68893$

$\nu_{d1} = 31.07$

$r_2 = \infty$

$d_2 = 0.1500$

$r_3 = 20.1047$ (非球面)

$d_3 = 2.4000$

$n_{d3} = 1.80610$

$\nu_{d3} = 40.92$

$r_4 = -21.5717$

$d_4 = D_4$

$r_5 = -7.8993$ (非球面)

$d_5 = 0.8000$

$n_{d5} = 1.74320$

$\nu_{d5} = 49.34$

$r_6 = 15.6354$ (非球面)

$d_6 = 0.6000$

$r_7 = 23.5360$

$d_7 = 1.5000$

$n_{d7} = 1.84666$

$\nu_{d7} = 23.78$

$r_8 = -38.6762$

$d_8 = D_8$

$r_9 = \infty$ (絞り)

$d_9 = D_9$

$$r_{10}=6.4319 \text{ (非球面)}$$

$$d_{10}=2.7996$$

$$n_{d10}=1.69350$$

$$\nu_{d10}=53.21$$

$$r_{11}=-15.9497 \text{ (非球面)}$$

$$d_{11}=0.1500$$

$$r_{12}=9.9957$$

$$d_{12}=1.9985$$

$$n_{d12}=1.69680$$

$$\nu_{d12}=55.53$$

$$r_{13}=-20.3022$$

$$d_{13}=0.7000$$

$$n_{d13}=1.84666$$

$$\nu_{d13}=23.78$$

$$r_{14}=3.9847$$

$$d_{14}=D14$$

$$r_{15}=7.3130$$

$$d_{15}=1.5000$$

$$n_{d15}=1.69680$$

$$\nu_{d15}=55.53$$

$$r_{16}=14.1094$$

$$d_{16}=D16$$

$$r_{17}=8.4585$$

$$d_{17}=2.0000$$

$$n_{d17}=1.58423$$

$$\nu_{d17}=30.49$$

$$r_{18}=\infty$$

$$d_{18}=0.7000$$

$$r_{19}=\infty$$

$$d_{19}=0.6000$$

$$n_{d19}=1.51633$$

$$\nu_{d19}=64.14$$

$$r_{20}=\infty$$

$$d_{20}=D20$$

$$r_{21}=\infty \text{ (摄像面)}$$

非球面係数

第1面

$$K=0$$

$$A_4 = 6.8669 \times 10^{-4} \quad A_6 = -5.0449 \times 10^{-6} \quad A_8 = 4.9350 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 0$$

第3面

$$K=0$$

$$A_4 = -2.3237 \times 10^{-4} \quad A_6 = -1.7799 \times 10^{-7} \quad A_8 = 2.6664 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 0$$

第5面

$$K=0$$

$$A_4 = 1.3138 \times 10^{-3} \quad A_6 = 2.3753 \times 10^{-6} \quad A_8 = 1.2445 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第6面

$$K=0$$

$$A_4 = 8.9175 \times 10^{-4} \quad A_6 = 4.1528 \times 10^{-6} \quad A_8 = 1.6560 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 0$$

第10面

$$K=0$$

$$A_4 = -2.1575 \times 10^{-4} \quad A_6 = -6.6772 \times 10^{-6} \quad A_8 = 5.7579 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

第11面

$$K=0$$

$$A_4 = 6.8295 \times 10^{-4} \quad A_6 = -3.6082 \times 10^{-6} \quad A_8 = 7.5907 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 0$$

ズームデータ

D0 (物体から第1面までの距離) が ∞ のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|--------|----------|----------|----------|
| f (mm) | 3.58285 | 5.61494 | 9.45983 |
| Fno. | 2.8627 | 3.3784 | 4.7133 |
| D0 | ∞ | ∞ | ∞ |
| D4 | 0.99716 | 5.27298 | 7.92387 |
| D8 | 7.82632 | 3.54693 | 0.89966 |

| | | | |
|-------|----------|----------|----------|
| D 9 | 6. 45682 | 4. 63452 | 1. 00008 |
| D 1 4 | 1. 19392 | 3. 03802 | 6. 65096 |
| D 1 6 | 1. 20299 | 1. 19733 | 1. 20254 |
| D 2 0 | 0. 89977 | 0. 88502 | 0. 89989 |

D 0（物体から第 1 面までの距離）が近距離（2 0 c m）のとき

| | 広角端 | 中間 | 望遠端 |
|-------|------------|------------|------------|
| D 0 | 177. 30496 | 177. 30496 | 177. 30496 |
| D 4 | 0. 99716 | 5. 27298 | 7. 92387 |
| D 8 | 7. 82632 | 3. 54693 | 0. 89966 |
| D 9 | 6. 45682 | 4. 63452 | 1. 00008 |
| D 1 4 | 0. 99853 | 2. 56937 | 5. 38372 |
| D 1 6 | 1. 39837 | 1. 66598 | 2. 46978 |
| D 2 0 | 0. 89977 | 0. 88502 | 0. 89989 |

上記 1 4 乃至 1 6 実施例における前記条件式のパラメータ等の値は下表 3 に示す通りである。

【表 3】

| | 第 1 4 実施例 | 第 1 5 実施例 | 第 1 6 実施例 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| レンズデータ | 数値データ 1 4 | 数値データ 1 5 | 数値データ 1 6 |
| W 半画角 (ω_w) | 31. 9 | 35. 5 | 39. 7 |
| S 半画角 | 19. 5 | 21. 8 | 25. 7 |
| T 半画角 | 12. 4 | 12. 6 | 15. 7 |
| 最大像高 | 2. 7 | 2. 7 | 2. 7 |
| β_{2W} | -0. 74863 | -0. 67480 | -0. 51089 |
| β_{3W} | -0. 76122 | -0. 69462 | -0. 53488 |
| $ f_2 / f_w$ | 2. 2163 | 2. 2125 | 3. 6491 |
| f_3 / f_w | 2. 3271 | 2. 4290 | 3. 0760 |
| D3/D2 | 0. 92336 | 0. 81538 | 0. 82501 |
| M4 · S1 | 2. 583E+2 | 3. 271E+2 | 2. 256E+2 |
| $y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w})$ | 0. 97071 | 0. 88208 | 0. 87390 |
| f_w / y_{10} | 1. 70571 | 1. 53017 | 1. 32698 |

| | | | |
|---|----------|----------|----------|
| d_F / d_P | 0.47222 | 0.47222 | 0.48000 |
| R_{11} / y_{10} | -2.33800 | -2.50700 | -3.36307 |
| $f_W \cdot (n_1 - 1) / R_{11}$ | -0.61769 | -0.51677 | -0.27183 |
| f_1 / f_W | 3.5685 | 3.7891 | 7.3196 |
| f_{12} / f_W | 1.7585 | 1.9906 | 3.6981 |
| $(R_{1PF} + R_{1PR}) / (R_{1PF} - R_{1PR})$ | -0.60727 | -0.44695 | -0.03520 |
| $(R_{2NF} + R_{2NR}) / (R_{2NF} - R_{2NR})$ | 0.53128 | 0.15403 | -0.32871 |
| $(R_{2PF} + R_{2PR}) / (R_{2PF} - R_{2PR})$ | -1.91048 | -1.04730 | -0.24336 |
| d_{22} / f_W | 0.13028 | 0.14523 | 0.16746 |
| R_{B3} / R_{B1} | 0.33331 | 0.52087 | 0.39864 |
| f_W / R_{B2} | -0.64324 | -0.72930 | -0.17648 |
| $\nu_{BP} - \nu_{BN}$ | 28.65 | 28.65 | 31.75 |

第14～第16実施例において $S_1=177.30496$ (mm)である。

さて、以上のような本発明の折り曲げズームレンズは、撮像装置に用いることができる。撮像装置としては、銀塩カメラ、デジタルカメラ、ビデオカメラがある。これらの撮像装置は、ズームレンズ等の結像光学系で物体像を形成し、その像をCCDや銀塩フィルムといった撮像素子に受光させて撮影を行う撮影装置である。また、本発明の折り曲げズームレンズは、情報装置に用いることもできる。情報処理装置としては、パソコン、電話、特に持ち運びに便利な携帯電話等がある。以下に、その実施形態を例示する。

図60～図62は本発明による折り曲げズームレンズをデジタルカメラの撮影光学系41に組み込んだ構成の概念図である。ここで、図60はデジタルカメラ40の外観を示す前方斜視図、図61は同後方斜視図、図62はデジタルカメラ40の構成を示す断面図である。なお、デジタルカメラは、撮像光路をファインダーの長辺方向に折り曲げた構成となっている。図62はデジタルカメラを観察者が上側から見た時の様子を示している。

デジタルカメラ40は、撮影光学系41、ファインダー光学系43、シャッター45、フラッシュ46、液晶表示モニター47を備えている。ここで、撮影光学系41は、撮像用光路42上に配置されている。また、ファインダー光学系（ファインダー用対物光学系）43は、ファインダー用光路44上に配置されている。また、液晶表示モニター47は、カメラの背面に設けられている。

カメラ40の上部には、シャッター45が配置されている。撮影者がシャッター45を押すと、それに連動して撮影光学系41、例えば、第1実施例の光路折り曲げズームレンズを通して撮影が行われる。

そして、撮影光学系41によって形成された物体像が、CCD49の撮像面上に形成される。この時、物体からの光は、近赤外カットフィルター、近赤外カットコートを経て、CCD49に入射する。なお、近赤外カットコートは、CCDカバーガラス又はその他のレンズに施されている。

このCCD49で受光された物体像は、処理手段51を介し、電子画像として液晶表示モニター47に表示される。また、この処理手段51には記録手段52が接続され、撮影された電子画像を記録することもできる。なお、この記録手段52は処理手段51と別体に設けてもよいし、電子的に記録書き込みを行なうように構成しても良い。電子的な記録書き込みには、フレキシブルディスク、メモリーカード、MO等を用いればよい。また、CCD49に代わって、像面に銀塩フィルムを配置した場合、銀塩カメラの構成となる。

また、ファインダー用光路44上には、ファインダー光学系53が配置してある。このファインダー光学系53によって、像正立部材であるポロプリズム55の視野枠57上に、物体像が形成される。このポロプリズム55の後方には、接眼光学系59が配置されている。接眼光学系59は、正立正像にされた像を観察者の眼球Eに導くためのものである。なお、撮影光学系41及びファインダー光学系53の入射側、及び接眼光学系59の射出側に、それぞれカバー部材50が配置されている。

このように構成されたデジタルカメラ40は、ファインダーの長辺方向に光路が折り曲げられている。このことにより、カメラの薄型化が効果的に行なわれている。また、撮影光学系41が広画角で高変倍比でありながら、収差が良好で、明るいズームレンズとなっている。さらに、フィルター等が配置できるバックフォーカスの長いズームレンズである。そのため、光学系の高性能・低コスト化が実現できる。

なお、本実施例のデジタルカメラ40の撮像光路を、ファインダーの短辺方向に折り曲げて構成してもよい。その場合には、撮影レンズの入射面からストロボ（又はフラッ

シュ)を、より上方に離して配置する。このようにすれば、ストロボ撮影時に生じる影の影響を緩和できる。

また、図62の例では、カバー部材50として平行平板を配置しているが、パワーを持ったレンズをカバー部材50として用いてもよい。

次に、情報処理装置の一例であるパソコンを図63～図65に示す。このパソコンに本発明の折り曲げズームレンズが、対物光学系として内蔵されている。図63はパソコン300のカバーを開いた前方斜視図、図64はパソコン300の撮影光学系303の断面図、図65は図63の側面図である。

図63～図65に示すように、パソコン300は、キーボード301と、情報処理手段や記録手段と、情報を表示するモニター302と、撮影光学系303とを有している。ここで、キーボード301は、外部から操作者が情報を入力するためのものである。また、モニター302は、情報を操作者に表示するためのものである。また、撮影光学系303は、操作者自身や周辺の被写体を撮影するためのものである。また、情報処理手段や記録手段は、図示を省略している。

ここで、モニター302は、透過型液晶表示素子や、反射型液晶表示素子や、CRTディスプレイ等であってよい。なお、透過型液晶表示素子の場合、図示しないバックライトにより背面から照明が行なわれている。また、反射型液晶表示素子では、前面からの光を反射して表示が行なわれる。

また、図中、撮影光学系303は、モニター302の右上に内蔵されているが、その場所に限らない。その配置位置は、例えば、モニター302の周囲や、キーボード301の周囲のどこであってもよい。

この撮影光学系303は、撮影光路304上に、対物レンズ112と、像を受光する撮像素子チップ162とを有している。対物レンズ112は、例えば、第1実施例の光路折り曲げズームレンズである。これらはパソコン300に内蔵されている。

ここで、撮像素子チップ162上には、カバーガラスCGが付加的に貼り付けられている。よって、これらは、撮像ユニット160として一体に形成されている。そして、撮像ユニット160は、対物レンズ112の鏡枠113の後端に、ワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっている。そのため、対物レンズ112と撮像素子チップ16

2の中心合わせや、面間隔の調整が不要であることから、組立が簡単となっている。また、鏡枠113の先端（図示略）には、カバーガラス114が配置されている。このカバーガラス114は、対物レンズ112を保護するためのものである。なお、鏡枠113中のズームレンズの駆動機構等は、図示を省いてある。

撮像素子チップ162で受光された物体像は、端子166を介して、パソコン300の処理手段に入力される。そして、物体像は、電子画像としてモニター302に表示される。図64には、その一例として、操作者自身を撮影した時の画像305が示されている。また、この画像305を、インターネットや電話を介して、遠隔地から通信相手のパソコンに表示させることも可能である。

次に、情報処理装置の一例である電話、特に持ち運びに便利な携帯電話を図66に示す。この携帯電話に、本発明の折り曲げズームレンズが、撮影光学系として内蔵されている。図66Aは携帯電話400の正面図、図66Bは側面図、図66Cは撮影光学系405の断面図である。

図66A～66Cに示すように、携帯電話400は、マイク部401と、スピーカ部402と、入力ダイヤル403と、モニター404と、撮影光学系405と、アンテナ406と、処理手段（図示せず）とを有している。ここで、マイク部401は、操作者の声を情報として入力するためのものである。また、スピーカ部402は、通話相手の声を出力するためのものである。また、入力ダイヤル403は、操作者が情報を入力するためのものである。また、モニター404は、操作者自身や通話相手等の撮影像や、電話番号等の情報を表示するためのものである。また、アンテナ406は、通信電波の送信と受信を行なうためのものである。また、処理手段は、画像情報や通信情報、入力信号等の処理を行うためのものである。

また、モニター404は液晶表示素子である。また、図中、各構成の配置位置は、特にこれらに限られない。この撮影光学系405は、撮影光路407上に配置された対物レンズ112と、物体像を受光する撮像素子チップ162とを有している。これらは、携帯電話400に内蔵されている。ここで、対物レンズ112には、例えば、第1実施例の光路折り曲げズームレンズが用いられる。

また、撮像素子チップ１６２上には、カバーガラスＣＧが付加的に貼り付けられている。よって、これらは、撮像ユニット１６０として一体に形成されている。そして、撮像ユニット１６０は、対物レンズ１１２の鏡枠１１３の後端に、ワンタッチで嵌め込まれて取り付け可能になっている。そのため、対物レンズ１１２と撮像素子チップ１６２の中心合わせや、面間隔の調整が不要であり、組立が簡単となっている。また、鏡枠１１３の先端（図示略）には、カバーガラス１１４が配置されている。このカバーガラス１１４、対物レンズ１１２を保護するためのものである。なお、鏡枠１１３中のズームレンズの駆動機構等は、図示を省略してある。

撮像素子チップ１６２で受光された物体像は、端子１６６を介して、処理手段に入力され、電子画像としてモニター４０４に、又は、通信相手のモニターに、又は、両方に表示される。また、処理手段には、信号処理機能が含まれている。この信号処理機能により、撮像素子チップ１６２で受光された物体像の情報を、送信可能な信号へと変換することができる。よって、通信相手に、画像を送信することができる。

What is claimed is

1. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置されたレンズ群、及び

前記レンズ群よりも像側に配置され正の屈折力を有する移動レンズ群、

前記レンズ群は正レンズを1枚含み、

前記移動レンズ群は広角端から望遠端に変倍する際に単調に物体側に移動し、

下記条件式を満足する。

$$0.8 < y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.96$$

但し、 f_w は広角端におけるズームレンズ全系の焦点距離、 y_{07} は前記電子撮像素子の有効撮像面内で中心から最も遠い点までの距離を y_{10} としたときに $0.7 \times y_{10}$ で表わされる像高、 ω_{07w} は広角端における前記電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

2. クレーム1のズームレンズであって、

前記レンズ群と前記移動レンズ群との間に開口絞りを有し、

下記条件式を満足する。

$$0.4 < \log \gamma_B / \log \gamma < 4.0$$

但し、 $\gamma = f_T / f_w$ （但し、 f_T は望遠端におけるズーム光学系全系の焦点距離）、 $\gamma_B =$ 望遠端における前記移動レンズ群の倍率／広角端における前記移動レンズ群の倍率である。

3. クレーム1のズームレンズであって、

前記レンズ群が、物体側から正レンズ、負レンズの順に接合されたレンズ成分を少なくとも有する。

4. クレーム1のズームレンズであって、

前記レンズ群が負の屈折力を持つ光学素子を少なくとも有し、

前記光学素子が非球面を少なくとも1面有している。

5. クレーム1のズームレンズであって、
前記レンズ群が、最も物体側に、負の屈折力を持つ光学素子を有し、
下記条件式を満足する。

$$-1.5 < (R11 + R12) / (R11 - R12) < 1.1$$

但し、R11は前記光学素子の入射面の曲率半径、R12は前記光学素子の射出面の曲率半径である。

6. クレーム1のズームレンズであって、
前記レンズ群と前記開口絞りが、変倍時にそれらの位置が固定されている。

7. クレーム1のズームレンズであって、
前記レンズ群が、反射面を備えた反射光学素子を有している。

8. クレーム7のズームレンズであって、
前記反射光学素子が最も物体側に凹面を有している。

9. クレーム8のズームレンズであって、
前記レンズ群が正レンズを備え、全体として正の屈折力を持っている。

10. クレーム7のズームレンズであって、
前記反射光学素子の入射面が、光軸から離れるにしたがって発散性が弱まる非球面である。

11. クレーム7のズームレンズであって、
下記条件式を満足する。

$$0.3 < d_F / d_P < 0.7$$

但し、 d_F は前記レンズ群における最も物体側の面と光軸との交点から前記反射面と光軸との交点までの距離、 d_P は該反射面よりも物体側に最も近い屈折面と光軸との交点距離である。

12. クレーム1のズームレンズであって、

前記レンズ群の像側に隣接して配置された負の屈折力を持つレンズ群を有し、
前記負の屈折力を持つレンズ群は負レンズと正レンズを有している。

13. クレーム1のズームレンズであって、

前記レンズ群の像側に隣接して配置された負の屈折力を持つレンズ群を有し、
前記開口絞りが前記負の屈折力を持つレンズ群と前記移動レンズ群との間に配置されている。

14. 電子撮像装置であって、以下を備える

クレーム1のズームレンズ、
電子撮像素子、及び
画像処理ユニット、

前記画像処理ユニットは、前記電子撮像素子で撮像した画像データを電氣的に加工して、その形状を変化させる過程を有している。

15. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群、
前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群、
及び
前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群、
前記第1レンズ群は2つの非球面を有し、
広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動する。

16. ズームレンズであって、以下を備える。

最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群、

前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群、
及び

前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群、

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群合わせて4つの非球面を有し、

広角端から望遠端に変倍する際に前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動する。

17. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群、

前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群、
及び

前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群、

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群はそれぞれ2つの非球面を有し、

広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動する。

18. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群、

前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群、
及び

前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群、

前記第2レンズ群と前記第3レンズ群合わせて4つの非球面を有し、

前記第2レンズ群は広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動する。

19. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置された正の屈折力を有する第1レンズ群、
前記第1レンズ群よりも像側に配置された負の屈折力を有する第2レンズ群、
及び
前記第2レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第3レンズ群、
前記第2レンズ群と前記第3レンズ群はそれぞれ2つの非球面を有し、
広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し、且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動する。

20. クレーム15のズームレンズであって、

前記第1レンズ群は、物体側から光路に沿って順に配置された、発散性を有する光学素子と正レンズとを有している。

21. クレーム15のズームレンズであって、

前記第2レンズ群は、物体側から光路に沿って順に配置された、両凹レンズと正レンズとを有している。

22. クレーム15のズームレンズであって、

前記第3レンズ群は、物体側から光路に沿って順に配置された、正の単レンズと、正レンズと像側に強い凹面を向けた負レンズからなる接合レンズとを有している。

23. クレーム15のズームレンズであって、

前記第3レンズ群の像側に、フォーカスのために移動可能であるレンズ群を有している。

24. クレーム15のズームレンズであって、

最も像側に近いレンズ群は像面に対して位置が実質上固定されている。

25. クレーム20のズームレンズであって、

前記第1レンズ群は像面に対して位置が実質上固定されており、
前記光学素子は入射面と反射面を有するプリズムであり、且つ
前記入射面の形状は光軸から離れるにしたがって発散性が弱まる凹面である。

26. クレーム15のズームレンズであって、

前記第2レンズ群と前記第3レンズ群の間に、像面に対して位置が固定である開口絞りを有し、

前記開口絞り廻りも物体側に、1個のプリズムと3枚以下の単レンズが配置されている。

27. クレーム15のズームレンズであって、

前記第2レンズ群と前記第3レンズ群は開口絞りを挟んで隣接しており、

下記の条件を満足する。

$$0.50 < D3/D2 < 1.40$$

但し、 $D2$ は広角端における前記第2レンズ群の最も像側の面頂から前記開口絞りまでの光軸に沿った距離、 $D3$ は広角端における前記開口絞りから前記第3レンズ群の最も物体側の面頂までの光軸に沿った距離である。

28. クレーム15のズームレンズであって、

下記の条件を満足する。

$$0.75 < y_{07} / (fw \times \tan \omega_{07w}) < 0.96$$

但し、 fw は広各端における前記ズームレンズ全系の焦点距離、 y_{07} は前記電子撮像素子の有効像面内で中心から最も遠い点までの距離を y_{10} としたきに $0.7 \times y_{10}$ で表される像高、 ω_{07w} は広角端における前記電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。

29. クレーム28のズームレンズであって、

下記の条件を満足する。

$$1. \quad 0 < f_w / y_{10} < 2. \quad 1$$

但し、 f_w は広各端における前記ズームレンズ全系の焦点距離、 y_{10} は前記電子撮像素子の有効撮像面内で中心から最も遠い点までの距離である。

30. 電子撮像装置であって、以下を備える

クレーム15のズームレンズ、

電子撮像素子、及び

画像処理ユニット、

前記画像処理ユニットは、前記電子撮像素子で撮像した画像データを電氣的に加工してその形状を変化させる過程を有している。

31. ズームレンズであって、以下を備える

最も物体側に配置された正の屈折力の第1レンズ群、

前記第1レンズ群よりも像側に配置されていて、負の屈折力を有する第2レンズ群、及び

前記第2レンズ群よりも像側に配置されていて、正の屈折力を有する第3レンズ群、

前記第1レンズ群は反射面を有し、

広角端から望遠端に変倍する際に、前記第2レンズ群は移動し且つ前記第3レンズ群は単調に物体側に移動し、

下記の条件を満足する。

$$-1. \quad 0 \leq \beta_{2W} \leq -0. \quad 40$$

$$-1. \quad 0 \leq \beta_{3W} \leq -0. \quad 40$$

但し、 β_{2W} は前記第2レンズ群の広角端における倍率、 β_{3W} は前記第3レンズ群の広角端における倍率である。

32. クレーム31のズームレンズであって、

前記光学素子の入射面と正レンズの何れかの面が、共に光軸から離れるほど曲率が弱くなる非球面である。

33. クレーム31のズームレンズであって、

前記第2レンズ群は負レンズに、前記第3レンズ群は正レンズに、それぞれ非球面を有している。

34. 電子撮像装置であって、以下を備える

クレーム31のズームレンズ、

電子撮像素子、及び

画像処理ユニット、

前記画像ユニットは、前記電子撮像素子で撮像した画像データを電氣的に加工してその形状を変化させる過程を有している。

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

本発明は、ズーム光学系及びそれを備えた光学装置であって、ズーム光学系は最も物体側に配置されたレンズ群、及びこのレンズ群よりも像側に配置され正の屈折力を有する移動レンズ群を備え、最も物体側に配置されたレンズ群は正レンズを1枚含み、移動レンズ群は広角端から望遠端に変倍する際に単調に物体側に移動し、下記条件式を満たす。

$$0.8 < y_{07} / (f_w \cdot \tan \omega_{07w}) < 0.96$$

但し、 f_w は広角端におけるズームレンズ全系の焦点距離、 y_{07} は前記電子撮像素子の有効撮像面内で中心から最も遠い点までの距離を y_{10} としたときに $0.7 \times y_{10}$ で表わされる像高、 ω_{07w} は広角端における前記電子撮像素子の有効撮像面上の中心から y_{07} の位置に結ぶ像点に対応する物点方向の光軸に対する角度である。